



## **Faculdade de Arquitectura**

Universidade de Lisboa

Dissertação de Natureza Científica elaborada para obtenção do Grau de Mestre em  
**Arquitectura**

# **CONSTRUIR EM MADEIRA** **APLICABILIDADE DE PAINÉIS CLT EM HABITAÇÃO DE MÉDIA DENSIDADE EM** **PORTUGAL**

Rafaela Maria Marques Mezeiro

### **Orientação Científica**

Orientador: Professor Doutor Paulo Almeida

Co-orientadora: Professora Doutora Elisabete Freire

### **Júri**

Presidente: Professor Doutor António Morais

Vogal: Professor Doutor Carlos Mesquita

Vogal: Professor Doutor Paulo Almeida

Vogal: Professora Doutora Elisabete Freire

### **Documento Definitivo**

LISBOA, OUTUBRO 2018







## RESUMO

Serve o presente trabalho para estudar a viabilidade da aplicação do sistema construtivo de painéis de madeira de *Cross Laminated Timber* - CLT, na construção ou recuperação de um edifício de habitação de média densidade em Portugal, na cidade de Lisboa. Os painéis de CLT são peças de madeira associadas a um processo construtivo inovador, com uma considerável capacidade de suportar cargas aplicadas, principalmente quando comparado com sistemas construtivos convencionais. Neste tipo de estruturas de CLT os elementos que a constituem comportam-se como painéis, em que o transporte das forças é feito bidireccionalmente.

Considerou-se a elaboração deste trabalho atendendo às preocupações relacionadas com um tema da actualidade, nomeadamente as alterações climáticas. Ao nível da arquitectura, uma das formas de reduzir o impacto ambiental que a construção provoca é por exemplo através da utilização da madeira, que por sua vez tem a capacidade de armazenar dióxido de carbono, um dos principais gases emitidos para a atmosfera com efeito de estufa. Ao potenciar o uso da madeira, está-se por um lado a dinamizar o sector madeireiro, mas também por outro lado a contribuir para a diminuição da pegada ecológica.

Na realidade, com o aumento da utilização da madeira poder-se-á eventualmente, verificar-se uma maior necessidade do aumento da fileira, significando portanto que quantas mais árvores forem plantadas maior a quantidade de CO<sub>2</sub> poderá ser retirada da atmosfera, desta forma também poderá surgir a necessidade de criar diferentes políticas de gestão e manutenção florestal com esta utilização em vista.

Atendendo às propriedades físicas e mecânicas da madeira considerou-se importante abordar o tema da pré-fabricação de peças de madeira. Por ser um material dúctil, a madeira permite a normalização de vários tipos de produtos que por sua vez podem ser aplicados na construção de casas modulares, em que um dos principais objectivos deste tipo de construção está relacionado com a regularização das dimensões da construção de modo a estabelecer um módulo padrão como unidade de medida de referência, optimizando-se o processo de pré-fabricação e montagem do edifício no local. Por outro lado este é um tipo de construção que obedece a medidas passivas, que por sua vez pressupõe poupanças, ou até mesmo reduções significativas do consumo de energia do próprio edifício.

**PALAVRAS-CHAVE**

ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS; MADEIRA; ESTRUTURA; *CROSS*

*LAMINATED TIMBER*; EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

## ABSTRACT

The present work aims to study applicability of the use of the Cross Laminated Timber – CLT construction system for new construction and rehabilitation of medium density housing in Portugal, in the city of Lisbon. The CLT panels are pieces of wood associated with an innovative construction process, with a considerable loading capacity, especially when compared with traditional constructive systems. In this type of CLT structures the elements consist of panels, in which the force transport is made bidirectionally.

The elaboration of this work was considered taking into account the concerns related to a current theme, namely climate change. In architecture one of the ways to reduce the environmental impact that the construction causes is for example through the use of wood, since this material has the capacity to store carbon dioxide, a green house effect gas. By enhancing the use of wood, on the one hand, the timber industry could become more dynamic while also contributing to the reduction of green house effect.

In fact, with increasing use of wood there will also be a greater need to plant trees, implying that the more trees that are planted the more CO<sub>2</sub> that is withdrawn from the atmosphere, this could also create the need to create a different forest management and maintenance policies.

Considering the physical and mechanical properties of wood, it was considered important to address the pre-fabrication of wood pieces. Because it is a ductile material, wood allows the standardization of several types of products which in turn can be applied in the construction of modular houses, in which one of the main objectives of this type of construction is related to the regularization of the dimensions of the construction with the purpose to establish a standard module as a reference unit of measurement, optimizing the pre-fabrication and assembly process of the building on site. On the other hand this is a type of construction that obeys passive requirements, which in turn supposes savings, or even significant reductions in the energy consumption of the building itself.

## KEY WORDS

WOOD; STRUCTURE; CROSS LAMINATED TIMBER; CLIMATE CHANGES; ENERGY EFFICIENCY





## AGRADECIMENTOS

A apresentação desta dissertação representa o fim de uma etapa na minha formação académica, mas não o fim de um capítulo de vida. Assim sendo, não posso deixar de destacar todos aqueles que foram determinantes, que me acompanharam ao longo deste percurso e que contribuíram para a concretização deste projecto.

Ao meu orientador, professor Doutor Paulo Manuel dos Santos Pereira de Almeida, que aceitou sem hesitar orientar este trabalho, através da partilha de conhecimento e apoio. À Professora Doutora Maria Elisabete Freire, minha co-orientadora, que sempre se demonstrou totalmente disponível para me ajudar.

Não posso deixar de referir também o papel importante que outros dois professores desempenharam durante este trajecto: por um lado a Professora Doutora Maria Soledade, com quem dei início a esta jornada e que foi por sua vez, quem me deu acesso pela primeira vez, a ferramentas para progredir ao longo do meu percurso académico; por outro lado, o Professor Doutor Ricardo Silva Pinto, que me deu a conhecer um lado mais pragmático, mas ao mesmo tempo vibrante ao nível da arquitectura.

O meu agradecimento sincero ao Professor Doutor António Morais, que sempre se demonstrou disponível para me ajudar e acompanhar em qualquer circunstância, mas principalmente por me cativar durante as suas aulas, permitindo-me descobrir uma vertente que desconhecia, mas que me fascina, no que diz respeito à arquitectura.

Aos meus amigos que acompanharam de perto este percurso e que me deram força para continuar, no meio de inseguranças, de muitas horas de dedicação e bons momentos.

Por último, ao pilar mais importante da minha vida que nunca me deixou questionar ou desistir e que acredita inteiramente em mim: a minha família. Aos meus avós, que olham para mim como uma mulher com muita coragem e capacidade. Ao meu pai, a minha principal referência de disciplina, extrema força e resiliência e que sempre me apoia incondicionalmente, mostrando-me sempre o caminho certo; à minha mãe, que me transmite calma, serenidade e paciência.

E ainda aos meus irmãos, que são para mim um exemplo de vida: o meu irmão Helder que me transmitiu o gosto pela arquitectura e que representa para mim a liberdade de viver e a minha irmã Susana, que tem a capacidade de me ouvir, apaziguar e que representa para mim a coragem de viver.

A todos, o meu sincero obrigado.

## ÍNDICE

<b>RESUMO .....</b>	<b>I</b>
<b>PALAVRAS-CHAVE .....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS .....</b>	<b>XIX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA .....	1
1.2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA .....	4
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	6
<b>2. PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS .....</b>	<b>9</b>
2.1. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS .....	9
2.1.1. Crescimento urbano.....	9
2.1.2. Impacto do sector da construção.....	11
2.2. PORQUÊ CONSTRUIR EM MADEIRA .....	14
2.2.1. Contributo da madeira na redução do impacto da construção no meio ambiente .....	14
2.2.2. Madeira, um material eficiente ao nível ambiental.....	15
2.3. A MADEIRA APLICADA NA CONSTRUÇÃO.....	17
2.4. IMPACTO QUE A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA CAUSA NAS FLORESTAS: DEMANDA ECONÓMICA E GESTÃO DAS FLORESTAS.....	22
<b>3. MADEIRA E O SEU POTENCIAL .....</b>	<b>27</b>
3.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO .....	27
3.1.1. A madeira ao longo do tempo .....	27
3.1.2. Construir em madeira.....	28
3.1.3. Madeira em Portugal.....	30
3.1.4. Voltar a construir em madeira .....	32
3.1.5. Preocupações ambientais com o sector da construção.....	35
3.2. A MADEIRA PROVENIENTE DE UM ORGANISMO VIVO.....	40
3.2.1. Heterogeneidade .....	40
3.2.2. Constituição da árvore.....	40
3.2.3. Constituição do tronco.....	42
3.2.4. A madeira enquanto material .....	44

3.2.5. Ciclo natural da madeira e a sua capacidade de armazenar CO <sub>2</sub> .....	46
3.3. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA.....	47
3.3.1. Anisotropia e higroscopicidade.....	47
3.3.2. Presença da água e humidade na madeira .....	51
3.3.3. Retracção e dilatação.....	53
3.3.4. Condutibilidade térmica, eléctrica e calor específico.....	53
3.3.5. Massa térmica e o desempenho da madeira enquanto isolamento térmico.....	56
3.3.6. Coeficiente de dilatação térmica.....	58
3.3.7. Densidade e dureza .....	59
3.3.8. Propriedades acústicas .....	59
3.4. PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA.....	61
3.4.1. Resistência à tracção, compressão e a forças tangenciais.....	62
3.4.1.1. Forças de compressão.....	63
3.4.1.2. Forças de tracção .....	64
3.4.1.3. Resistência ao vento.....	64
3.4.1.4. Resistência aos sismos .....	65
3.4.2. Deformações plásticas e elásticas.....	66
3.4.3. Fadiga .....	67
3.4.4. Encurvadura.....	68
3.4.5. Fendimento .....	68
3.4.6. Resistência ao fogo.....	69
3.5. DEGRADAÇÃO E PATOLOGIAS DA MADEIRA .....	73
3.5.1. Durabilidade da madeira.....	74
3.5.2. Durabilidade da construção .....	74
3.5.3. Defeitos enquanto factor de degradação da madeira.....	75
3.5.4. Patologias.....	77
3.5.5. Processos de degradação da madeira .....	78
3.5.6. Tratamentos que aumentam a durabilidade da madeira.....	78
3.6. AS VÁRIAS FASES DE PRODUÇÃO DA MADEIRA .....	80
3.6.1. Abate.....	80
3.6.2. Toramento, falqueamento e serração .....	81
3.6.3. Secagem da madeira .....	81
3.7. PRODUTOS DERIVADOS DA MADEIRA.....	82
3.7.1. Madeira lamelada .....	83

3.7.2. Contraplacado .....	85
3.7.3. Outros produtos derivados .....	86
<b>4. SISTEMAS ESTRUTURAIS, AVANÇOS TECNOLÓGICOS E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS .....</b>	<b>89</b>
4.1. CONCEPÇÃO DE UMA ESTRUTURA .....	89
4.1.1. Morfologia estrutural .....	91
4.1.2. Cargas que actuam numa estrutura de madeira .....	96
4.2. SISTEMAS CONSTRUTIVOS QUE DERIVAM DA MADEIRA ENQUANTO ELEMENTO ESTRUTURAL .....	98
4.2.1. Sistema construtivo Pila-viga .....	99
4.2.2. Sistema construtivo Aligeirado .....	101
4.2.3. Sistema construtivo Maciço .....	103
4.2.3.1. Introdução da madeira maciça no mercado da construção .....	108
4.3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS QUE DERIVAM DA MADEIRA MACIÇA .....	114
4.3.1. NLT: Nail Laminated Timber .....	115
4.3.2. DLT: Dowel Laminated Timber .....	116
4.3.3. CLT: Cross Laminated Timber .....	117
4.4. UNIÕES EM ESTRUTURAS DE MADEIRA .....	118
4.4.1. Tipos de ligações .....	119
4.4.2. Durabilidade das uniões entre elementos de madeira .....	121
4.5. REVESTIMENTOS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA .....	123
4.6. INDUSTRIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS E A SUA PRÉ-FABRICAÇÃO .....	124
4.7. STANDARTIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO .....	129
4.8. CONSTRUÇÃO MODULAR E CASAS PASSIVAS .....	132
4.8.1. Construção modular .....	132
4.8.2. Casas passivas .....	136
<b>5. CLT: CROSS LAMINATED TIMBER .....</b>	<b>139</b>
5.1. DESCRIÇÃO SOBRE O QUE SÃO OS PAINÉIS DE CLT E SUA APLICABILIDADE .....	139
5.1.1. O que é CLT? .....	139
5.1.2. Processo de fabrico .....	142
5.1.3. Funcionamento estrutural dos painéis de CLT .....	144
5.1.4. Comportamento sísmico dos painéis de CLT .....	148
5.1.5. Resistência ao fogo .....	150
5.1.6. Conforto térmico e acústico .....	154
5.1.7. Higroscopicidade do CLT .....	156

5.2.	APLICAÇÃO DOS PAINÉIS DE CLT EM OBRA .....	158
5.2.1.	Ligações entre elementos estruturais.....	159
5.2.2.	Rede de infra-estruturas .....	161
5.2.3.	Revestimentos compatíveis .....	161
5.3.	PRINCIPAIS VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PAINÉIS DE CLT .....	164
5.4.	CONSTRUÇÃO COM PAINÉIS DE CLT EM PORTUGAL.....	166
5.5.	REABILITAR COM PAINÉIS DE CLT.....	167
5.6.	O FUTURO DA CONSTRUÇÃO EM CLT E NOUTROS PRODUTOS DERIVADOS DE MADEIRA .....	170
<b>6.</b>	<b>REGULAMENTAÇÃO .....</b>	<b>171</b>
6.1.	ENQUADRAMENTO NORMATIVO .....	171
6.2.	NORMAS E REGULAMENTOS.....	173
6.3.	SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS .....	175
6.4.	ESTADOS LIMITE DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA .....	176
6.5.	CARGAS APLICADAS .....	178
6.6.	CLASSES DE SERVIÇO .....	179
6.7.	ESTADOS UNIDOS ENQUANTO EXEMPLO REGULAMENTAR.....	180
6.8.	O CASO DE PORTUGAL .....	182
<b>7.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DE PROJECTO: APLICABILIDADE DOS PAINÉIS DE CLT NUM EDIFÍCIO DE MÉDIA DENSIDADE .....</b>	<b>183</b>
7.1.	ARQUITECTURA.....	183
7.2.	AMBIENTE INTERIOR .....	186
7.3.	LOCAL DE INTERVENÇÃO.....	188
7.4.	TRANSPORTE DOS PAINÉIS DE CLT AO LOCAL DA OBRA.....	190
7.5.	COMPARAÇÃO ENTRE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS .....	193
7.5.1.	Solução tradicional: betão armado.....	193
7.5.1.1.	Vantagens e desvantagens.....	194
7.5.2.	Solução estudada ao longo do trabalho: Painéis de CLT .....	196
7.5.2.1.	Vantagens e desvantagens.....	197
7.5.3.	Apresentação de várias soluções possíveis, no sentido de avaliar a viabilidade dos painéis de CLT quando comparados com o betão armado .....	198
7.5.3.1.	Solução A .....	198
7.5.3.2.	Solução B .....	200
7.5.3.3.	Solução C .....	201
<b>8.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>203</b>

<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>207</b>
<b>DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS .....</b>	<b>211</b>
<b>PEÇAS DESENHADAS .....</b>	<b>215</b>





## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Alterações climáticas (Tackle Climate Change, p.9) .....	9
<b>Figura 2</b> - Crescimento urbano <a href="http://www.tlfirst.com/responding-to-challenges-of-urban-growth-in-developing-countries/">http://www.tlfirst.com/responding-to-challenges-of-urban-growth-in-developing-countries/</a> .....	10
<b>Figura 3</b> – Redução de custos energéticos <a href="https://jinjaritual.com/pt/reduce-your-ecological-footprint/">https://jinjaritual.com/pt/reduce-your-ecological-footprint/</a> .....	11
<b>Figura 4</b> – Pegada ecológica <a href="https://jinjaritual.com/pt/reduce-your-ecological-footprint/">https://jinjaritual.com/pt/reduce-your-ecological-footprint/</a> 2 .....	14
<b>Figura 5</b> – Gestão das florestas <a href="https://www.timberbiz.com.au/demand-for-wood-eats-into-european-forests/">https://www.timberbiz.com.au/demand-for-wood-eats-into-european-forests/</a> 1 .....	22
<b>Figura 6</b> – Extracção de madeira <a href="https://www.naturallywood.com/sustainable-forests/forest-management/interior-forests">https://www.naturallywood.com/sustainable-forests/forest-management/interior-forests</a> .....	22
<b>Figura 7</b> – Ciclo da utilização da madeira (Tackle climate change, p.49) .....	25
<b>Figura 8</b> – Troço de madeira <a href="https://www.novibelo.com/mobiliario/tipos-madeira-mobiliario/">https://www.novibelo.com/mobiliario/tipos-madeira-mobiliario/</a> .....	27
<b>Figura 9</b> – Estrutura elementar de madeira (COSTA, 2013, p.6) .....	27
<b>Figura 10</b> – Cidade lacustre na Suíça <a href="https://www.swissinfo.ch/por/povoa%C3%A7%C3%B5es-lacustres--candidatas-%C3%A0-chancela-da-unesco/8670684">https://www.swissinfo.ch/por/povoa%C3%A7%C3%B5es-lacustres--candidatas-%C3%A0-chancela-da-unesco/8670684</a> .....	27
<b>Figura 11</b> – Construção pombalina <a href="http://www.adn.pt/pt/noticias-3/obras-de-reabilitacao-edificio-pombalino-10/">http://www.adn.pt/pt/noticias-3/obras-de-reabilitacao-edificio-pombalino-10/</a> .....	30
<b>Figura 12</b> – Edifício Pombalino <a href="http://blog.imobiliario.com.pt/2016/01/edificio-ouro-grand-concluido-em-2017.html">http://blog.imobiliario.com.pt/2016/01/edificio-ouro-grand-concluido-em-2017.html</a> .....	31
<b>Figura 13</b> - Altice Arena <a href="https://madeiraestrutural.wordpress.com/2009/05/25/26/">https://madeiraestrutural.wordpress.com/2009/05/25/26/</a> .....	31
<b>Figura 14</b> - Estrutura da madeira do Altice Arena <a href="https://www.logisticaetransporteshoje.com/transportes/google-tesla-e-mit-vem-a-portugal-falar-de-tecnologia/">https://www.logisticaetransporteshoje.com/transportes/google-tesla-e-mit-vem-a-portugal-falar-de-tecnologia/</a> .....	31
<b>Figura 15</b> - Constituição de uma árvore <a href="http://www.minerva.uevora.pt/publicar/cortica/Osobreiro.htm">http://www.minerva.uevora.pt/publicar/cortica/Osobreiro.htm</a> .....	41
<b>Figura 16</b> - Constituição do tronco de uma árvore (MARQUES, 2017, p. 29) .....	42
<b>Figura 17</b> - Processo de fotossíntese (Tackle climate change, p.12) .....	46
<b>Figura 18</b> - Cubo de madeira a ilustrar os planos de corte <a href="http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema18/tema18-4.htm">http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema18/tema18-4.htm</a> .....	48
<b>Figura 19</b> - Planos de corte na madeira <a href="http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema18/tema18-1estr2.htm">http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema18/tema18-1estr2.htm</a> .....	50
<b>Figura 20</b> – Abate de árvores <a href="http://massrealestatelawblog.com/2013/01/27/check-before-you-cut-massachusetts-illegal-tree-cutting-carries-substantial-civil-penalties/80">http://massrealestatelawblog.com/2013/01/27/check-before-you-cut-massachusetts-illegal-tree-cutting-carries-substantial-civil-penalties/80</a>	

<b>Figura 21</b> – Secagem da madeira <a href="http://www.agroinformacion.com/los-bosques-espanoles-producen-tres-veces-mas-madera-de-la-que-se-corta-2/">http://www.agroinformacion.com/los-bosques-espanoles-producen-tres-veces-mas-madera-de-la-que-se-corta-2/</a> .....	81
<b>Figura 22</b> - Estrutura de madeira colada <a href="http://eco-wald.com/produkcja/kleenij-brus/">http://eco-wald.com/produkcja/kleenij-brus/</a> .....	83
<b>Figura 23</b> - Estrutura de madeira colada <a href="http://eco-wald.com/produkcja/kleenij-brus/">http://eco-wald.com/produkcja/kleenij-brus/</a> .....	84
<b>Figura 24</b> - Elementos construtivos de madeira colada <a href="http://eco-wald.com/produkcja/kleenij-brus/">http://eco-wald.com/produkcja/kleenij-brus/</a> .....	84
<b>Figura 25</b> – Placas de contraplacado <a href="http://esmorizplaca.pt/contraplacado/">http://esmorizplaca.pt/contraplacado/</a> .....	85
<b>Figura 26</b> – Placas de OSB <a href="http://www.harlowfencing.com/product/osb-3-board/">http://www.harlowfencing.com/product/osb-3-board/</a> .....	86
<b>Figura 27</b> – Placas de MDF <a href="http://www.sindicatodaindustria.com.br/noticias/2016/09/72,96512/simonetto-esclarece-duvidas-sobre-mdf-e-mdp.html">http://www.sindicatodaindustria.com.br/noticias/2016/09/72,96512/simonetto-esclarece-duvidas-sobre-mdf-e-mdp.html</a> .....	86
<b>Figura 28</b> – Painél CLT <a href="https://www.archdaily.com.br/br/763898/cross-laminated-timber-cottage-kariouk-associates/54b48176e58ece528e000147">https://www.archdaily.com.br/br/763898/cross-laminated-timber-cottage-kariouk-associates/54b48176e58ece528e000147</a> .....	87
<b>Figura 29</b> – Estrutura de madeira <a href="https://inhabitat.com/rintala-eggertsson-architects-spectacular-wood-pavilion-stretches-across-a-norwegian-beach/">https://inhabitat.com/rintala-eggertsson-architects-spectacular-wood-pavilion-stretches-across-a-norwegian-beach/</a> .....	89
<b>Figura 30</b> – Construção em pedra <a href="http://lightartacademy.com/blog/gear/an-unusual-stone-house-in-portugal/">http://lightartacademy.com/blog/gear/an-unusual-stone-house-in-portugal/</a> .....	89
<b>Figura 31</b> - Troncos de madeira aplicados na construção <a href="http://eco-wald.com/produkcja/ocilindrovannoe-brevno/">http://eco-wald.com/produkcja/ocilindrovannoe-brevno/</a> .....	93
<b>Figura 32</b> – Sistema construtivo pilar – viga (BRENMAN, 2016, p.3)	100
<b>Figura 33</b> – Estrutura de madeira Pilar-Viga <a href="http://entechnews.com/a-frame-garage-plans/a-frame-garage-plans-or-a-frame-house-plans-nz-with-a-frame-house-plans-canada-plus-a-frame-garage-plans-with-loft-together-with-a-frame-house-plans-4-bedroom/">http://entechnews.com/a-frame-garage-plans/a-frame-garage-plans-or-a-frame-house-plans-nz-with-a-frame-house-plans-canada-plus-a-frame-garage-plans-with-loft-together-with-a-frame-house-plans-4-bedroom/</a> .....	100
<b>Figura 34</b> – Estrutura de madeira Pilar-Viga <a href="http://grandviewtimbers.com/services/timber-frame-construction/">http://grandviewtimbers.com/services/timber-frame-construction/</a> .....	101
<b>Figura 35</b> – Estrutura de madeira Aligeirada <a href="https://www.thinkwood.com/products-and-systems/light-frame-construction-building">https://www.thinkwood.com/products-and-systems/light-frame-construction-building</a> .....	101
<b>Figura 36</b> – Estrutura de madeira Aligeirada <a href="https://www.structuremag.org/?p=11737">https://www.structuremag.org/?p=11737</a> .....	102
<b>Figura 37</b> - Sistema construtivo maciço em madeira (BRENEMAN, 2016, p.3).....	103
<b>Figura 38</b> - Construção de madeira maciça <a href="https://www.novatosystem.cz/en/products-2/15168-2/">https://www.novatosystem.cz/en/products-2/15168-2/</a> .....	104
<b>Figura 39</b> - Construção de madeira maciça <a href="https://www.novatosystem.cz/en/products-2/15168-2/">https://www.novatosystem.cz/en/products-2/15168-2/</a> .....	105
<b>Figura 40</b> - Construção de madeira maciça <a href="https://www.novatosystem.cz/en/products-2/15168-2/">https://www.novatosystem.cz/en/products-2/15168-2/</a> .....	105

<b>Figura 41</b> – Produtos que derivam de madeira maciça <a href="http://blog.perkinswill.com/mass-timber-a-primer-and-top-5/">http://blog.perkinswill.com/mass-timber-a-primer-and-top-5/</a> .....	114
<b>Figura 42</b> - Elemento de <i>Nail Laminated Timber</i> .....	115
<b>Figura 43</b> – Peça de madeira de NLT <a href="https://www.structuremag.org/?p=10916">https://www.structuremag.org/?p=10916</a> .....	115
<b>Figura 44</b> – Edifício com painéis <i>Nail Laminated Timber</i> <a href="https://www.detail.de/artikel/holzskelett-xxl-buerogebaeude-t3-in-minneapolis-30899/">https://www.detail.de/artikel/holzskelett-xxl-buerogebaeude-t3-in-minneapolis-30899/</a> .....	115
<b>Figura 45</b> – Elemento de Dowel Laminated Timber .....	116
<b>Figura 46</b> – Paineis DLT <a href="https://continuingeducation.bnppmedia.com/courses/think-wood/mass-timber-in-north-america/3/">https://continuingeducation.bnppmedia.com/courses/think-wood/mass-timber-in-north-america/3/</a> .....	116
<b>Figura 47</b> – Peça Dowel Laminated Timber <a href="https://twitter.com/seagatestruct">https://twitter.com/seagatestruct</a> .....	116
<b>Figura 48</b> – Elemento de <i>Cross Laminated Timber</i> .....	117
<b>Figura 49</b> – Constituição de painéis de CLT <a href="http://www.reidmiddleton.com/reidourblog/timber-construction-using-clt/">http://www.reidmiddleton.com/reidourblog/timber-construction-using-clt/</a> .....	117
<b>Figura 50</b> – Paineis de Cross Laminated Timber <a href="https://www.finnlog.ee/fin/tietoa-clt-talosta/clt-levyn-polyuretaani-liimaliitos/">https://www.finnlog.ee/fin/tietoa-clt-talosta/clt-levyn-polyuretaani-liimaliitos/</a> .....	117
<b>Figura 51</b> – Ligações metálicas entre elementos de madeira <a href="http://www.pinecross.com/products.php?language=en&amp;subpage=08118">http://www.pinecross.com/products.php?language=en&amp;subpage=08118</a>	
<b>Figura 52</b> - Exemplos de entalhes <a href="http://americanlogandlumber.com/images/Log-Corner-Styles.png">http://americanlogandlumber.com/images/Log-Corner-Styles.png</a> ...	119
<b>Figura 53</b> – Ligação metálica entre elementos de madeira <a href="http://eurocode5.ru/foto-sherpa">http://eurocode5.ru/foto-sherpa</a> .....	119
<b>Figura 54</b> – União metálica entre elementos de madeira <a href="https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco">https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco</a> .....	120
<b>Figura 55</b> – União escora <a href="https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco">https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco</a> .	120
<b>Figura 56</b> – União articulada <a href="https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco">https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco</a> .....	120
<b>Figura 57</b> – Uniões metálicas entre peças de madeira <a href="https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco/5819fc75e58eceeef60002fd-15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco-120">https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco/5819fc75e58eceeef60002fd-15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco-120</a>	
<b>Figura 58</b> – Ligações metálicas para pilares <a href="https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco/58078e0be58ece3c66000019-15-metal-fittings-for-connecting-laminated-wooden-structures-m90-for-90-mm-pillars">https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco/58078e0be58ece3c66000019-15-metal-fittings-for-connecting-laminated-wooden-structures-m90-for-90-mm-pillars</a> .....	121

**Figura 59** – Ligação metálica placa portante

<https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco/5813523ce58ece967800025c-15-metal-fittings-for-connecting-laminated-wooden-structures-support-plate>..... 121

**Figura 60** – Montagem de elementos pré-fabricados

<https://www.pinterest.pt/pin/553872454160193777/> ..... 124

**Figura 61** – Construção com painéis de CLT pré-fabricados

<https://www.treehugger.com/sustainable-product-design/no-timber-towers-happening-america-concrete-industry-blocks-tall-wood-international-building-code.html> ..... 127

**Figura 62** – Montagem de peças standartizadas

<http://greentopia.com.br/madeira-edificios-pre-fabricacao/> ..... 129

**Figura 63** - Construção modular

<https://sciencemeetsbusiness.com.au/housing-industry-could-save-manufacturing-jobs/> ..... 132

**Figura 64** – Construção modular

<https://jpreardon.com/2011/03/17/jobs-jobs-jobs/> ..... 133

**Figura 65** – Construção modular

[https://www.builderonline.com/land/local-markets/colorado-developer-using-modular-housing-to-battle-low-affordability\\_c](https://www.builderonline.com/land/local-markets/colorado-developer-using-modular-housing-to-battle-low-affordability_c) ..... 135

**Figura 66** – Montagem de um edifício com painéis CLT

<https://www.homebook.pl/profil/multicomfort/projekt-twin-drewno-lite-clt> 139

**Figura 67** – Construção com painéis de CLT

<http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/> ..... 139

**Figura 68** – Edifício construído com painéis de CLT [http://www.e-](http://www.e-handeldrewnem.pl/aukcje/wyroby-z-drewna--1/drewnopochodne-materialy-plytowe--1/plyty-klejone--1/plyty-clt-x-lam-z-drewna-litego.html)

[handeldrewnem.pl/aukcje/wyroby-z-drewna--1/drewnopochodne-materialy-plytowe--1/plyty-klejone--1/plyty-clt-x-lam-z-drewna-litego.html](http://www.e-handeldrewnem.pl/aukcje/wyroby-z-drewna--1/drewnopochodne-materialy-plytowe--1/plyty-klejone--1/plyty-clt-x-lam-z-drewna-litego.html) ..... 140

**Figura 69** – *Log house* <http://eco-wald.com/produkcja/ocilindrovannoe-brevno/> ..... 140

**Figura 70** - *Loghouse* <http://eco-wald.com/produkcja/ocilindrovannoe-brevno/> ..... 141

**Figura 71** - Sistema estrutural Cross Laminated Timber

(BORGSTROM, 2016, p.262) ..... 141

**Figura 72** – Colagem das lamelas de painéis de CLT

<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/> ..... 142

**Figura 73** – Fabrico de painéis de CLT [https://www.agrop.cz/it/o-](https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione)

[spolecnosti/foto-della-produzione](https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione) ..... 142

**Figura 74** – Prensagem de painéis de CLT

<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/> ..... 142

**Figura 75** – Corte de peças de CLT [https://www.agrop.cz/it/o-](https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione)

[spolecnosti/foto-della-produzione](https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione) ..... 143

**Figura 76** – Corte de aberturas em painéis de CLT

<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/> ..... 143

**Figura 77** – Fabrico de painéis de CLT [https://www.agrop.cz/it/o-](https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione)

[spolecnosti/foto-della-produzione](https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione) ..... 143

<b>Figura 78</b> – Fabrico de painéis de CLT <a href="https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione">https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione</a> .....	144
<b>Figura 79</b> – Ligação entre peças de CLT <a href="https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/">https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/</a> .....	144
<b>Figura 80</b> – Aplicação de painéis de CLT em obra <a href="http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/">http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/</a> .....	158
<b>Figura 81</b> – Aplicação de painéis de CLT em contexto de obra <a href="https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/">https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/</a> .....	158
<b>Figura 82</b> – Construção com painéis CLT <a href="https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/">https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/</a> .....	159
<b>Figura 83</b> – Instalações eléctricas em painéis de CLT (KHL Catalogue, p.20) .....	161
<b>Figura 84</b> – Pormenor construtivo de uma solução construtiva com painéis de CLT <a href="https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/">https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/</a> ....	162
<b>Figura 85</b> – Área de intervenção.....	188
<b>Figura 86</b> – Edifício a reabilitar .....	189
<b>Figura 87</b> – Montagem de painéis de CLT <a href="http://www.gebco.pl/clt-system-litego-drewna.html">http://www.gebco.pl/clt-system-litego-drewna.html</a> .....	190
<b>Figura 88</b> – Transporte de painéis de CLT até ao local da obra <a href="http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/">http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/</a> .....	190
<b>Figura 89</b> – Transporte de elementos construtivos <a href="http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/">http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/</a> .....	191
<b>Figura 90</b> – Manuseamento de materiais de construção <a href="http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/">http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/</a> .....	192
<b>Figura 91</b> – Solução A: Edifício construído de raiz.....	198
<b>Figura 92</b> – SOLUÇÃO A: Perspectiva Rua Alexandre Sá Pinto – Alçado principal .....	199
<b>Figura 93</b> – SOLUÇÃO A: Modelo 3D, alçado principal.....	199
<b>Figura 94</b> – SOLUÇÃO A: Planta Piso Térreo .....	199
<b>Figura 95</b> - SOLUÇÃO A: Modelo 3D, alçado posterior.....	199
<b>Figura 96</b> – SOLUÇÃO A: Pormenor construtivo.....	199
<b>Figura 97</b> – SOLUÇÃO A: Corte A:A' .....	199
<b>Figura 98</b> – SOLUÇÃO B Modelo 3D: Edifício construído com painéis de CLT mantendo parede existente de alvenaria.....	200
<b>Figura 99</b> - SOLUÇÃO B: Perspectiva Rua Alexandre Sá Pinto – Alçado principal .....	200
<b>Figura 100</b> – SOLUÇÃO B Modelo 3D: Edifício construído com painéis de CLT mantendo parede existente de alvenaria.....	200
<b>Figura 101</b> – SOLUÇÃO B: Planta Piso Térreo .....	200
<b>Figura 102</b> –SOLUÇÃO C Modelo 3D: Edifício construído com painéis de CLT mantendo a parede existente de alvenaria.....	201
<b>Figura 103</b> - SOLUÇÃO C: Perspectiva Rua Alexandre Sá Pinto – Alçado principal .....	201
<b>Figura 104</b> – SOLUÇÃO C Modelo 3D: Edifício construído com painéis de CLT mantendo a parede existente de alvenaria.....	201
<b>Figura 105</b> – SOLUÇÃO C: Planta Piso Térreo.....	201
<b>Figura 106</b> – SOLUÇÃO C: Perspectiva.....	202



## **LISTA DE ACRÓNIMOS**

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

CLT – Cross Laminated Timber

NLT – Nail Laminated Timber

DLT – Dowel Laminated Timber

CNC – Comando Numérico Computarizado

RSA – Regulamento de Segurança e Acções

IBC – International Building Code

EC – Eurocódigo

PSF – Ponto de saturação das fibras





## **1. INTRODUÇÃO GERAL**

### **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA**

A madeira tornar-se-á o objecto central de análise ao longo do desenvolvimento deste trabalho de investigação, sendo por sua vez considerada um dos materiais mais nobres utilizada pelo homem, desde que este se torna sedentário e começa a construir o seu próprio abrigo, utilizando as ferramentas e materiais que encontra ao seu dispor na natureza.

Observa-se a evolução da sua utilização até ao século XIX, em paralelo com os progressos tecnológicos a que se assistia até então. No entanto, com o aparecimento de materiais como o betão armado e o aço, dá-se lugar à construção de estruturas modernas e arrojadas, apoiadas num ideal rigoroso ao nível do cálculo e das suas capacidades mecânicas. Atendendo a esta situação, no caso nacional, verifica-se um declínio progressivo na utilização da madeira enquanto principal material de construção a aplicar em estruturas, acabando por ficar associada a soluções construtivas temporárias e com pouca durabilidade.

No entanto, a diminuição da utilização da madeira ao nível da construção não se verifica de igual modo em todos os países, inclusivamente em países do Norte da Europa, como a Suécia e a Áustria mantêm-se a tradição da construção recorrendo à madeira como principal material construtivo. Por outro lado, em Portugal, principalmente a partir do século XX, verifica-se a utilização da madeira apenas em situações decorativas ou em pequenos elementos construtivos como portas, janelas. Esta é uma diferença de mentalidades que poderá estar relacionada com factores culturais, como também com decisões políticas e ainda com um estigma que se instalou relacionado com o facto de se olhar para a madeira como um material frágil.

Actualmente com o aumento da população mundial assiste-se consequentemente a um crescimento urbano, na medida em que se torna constantemente necessário dar resposta às necessidades da população em termos habitacionais e de infra-estruturas.

Significa portanto que se esta tendência se mantem será necessário continuar a investir ao nível do sector da construção, no entanto se as políticas e opções de construção se mantiverem no registo actual, significa que existirá cada vez mais poluição e emissão de CO<sub>2</sub>, resultado da fabricação dos materiais, do seu transporte até ao local da obra e dos resíduos que são gerados durante a construção de um edifício.

Contudo, através da crescente consciencialização ambiental e económica por parte da população e de entidades governamentais, mencionada anteriormente é possível reconhecer que se está a atribuir cada vez mais importância a um conhecimento mais profundo sobre as qualidades e características construtivas da madeira, que por outro lado foram também criadas medidas governativas para fazer a correcta gestão das florestas e por último que essa consciencialização deu origem também ao aparecimento de normas que regulam o desempenho e a eficiência energética dos edifícios, cujo objectivo é reduzir ao máximo o seu consumo energético.

Relativamente às qualidades construtivas da madeira verifica-se que este é um recurso que requer pouca energia para ser transformada em contexto de fábrica, que o seu processo de montagem em obra é simples, rápido e seco e que contém em si uma propriedade com grande potencial, que é a sua capacidade de reter dióxido de carbono ao longo de toda a sua vida útil.

No que diz respeito à criação de regulamentos no âmbito do reflorestamento, este aspecto tem como principal objectivo proporcionar uma eficaz gestão do património florestal, através da correcta manutenção das florestas, garantindo-se nomeadamente a conservação da natureza, a preservação da biodiversidade e ainda o facto de ser possível reter quantidades consideráveis de CO<sub>2</sub> nas árvores, eliminando-o da atmosfera.

Por fim, ao longo das últimas décadas dá-se a formulação de normas com o objectivo de regular o impacto da pegada ecológica originada pelo homem no meio ambiente, como tal são estabelecidos parâmetros que fazem referência a um ideal de edifício com um alto desempenho energético, com o propósito de reduzir o máximo possível as necessidades de consumo energético por parte dos utilizadores.

Neste contexto é realizada uma abordagem à possibilidade de aplicabilidade dos painéis de *Cross Laminated Timber* enquanto sistema construtivo, na construção de raiz ou na recuperação de um edifício de habitação de média densidade na cidade de Lisboa, promovendo-se inclusivamente o uso da madeira como principal material ao nível da construção. Estas são peças de madeira associadas a um processo construtivo inovador, com uma considerável capacidade de suportar cargas aplicadas, atendendo ao facto de ter um peso próprio reduzido, principalmente quando comparado com sistemas construtivos concebidos por exemplo em betão armado. Neste tipo de estruturas de CLT os elementos que a constituem comportam-se como placas, em que o transporte das forças é feito bidireccionalmente.

## 1.2. OBJECTIVOS E METODOLOGIA

A elaboração deste trabalho de investigação justifica-se pela necessidade de entender como se comporta de um modo geral a madeira quando aplicada na construção de edifícios, bem como conhecer melhor as suas propriedades físicas e mecânicas e ainda as vantagens da sua aplicação. Por outro lado, é também realizada uma abordagem sobre o que são os painéis de CLT, o seu potencial através da sua aplicação na construção e recuperação de edifícios e ainda o papel que poderá desempenhar relativamente ao futuro do sector da construção. Actualmente construir com painéis maciços de CLT é um processo construtivo inovador, visto que a fabricação destes painéis é realizada em contexto de fábrica, através de máquinas especializadas, que permitem obter as dimensões pretendidas e a garantia do seu bom desempenho estrutural.

A elaboração deste trabalho permite também levantar questões fundamentais relacionadas com as preocupações ambientais e económicas correntes, às quais se deve dedicar especial atenção de modo a promover um futuro mais sustentável para as gerações actuais e futuras.

Em boa verdade pretende-se com a concretização desta dissertação lançar a hipótese de reverter a situação que se vive em países como Portugal, em que a construção com madeira tem pouca expressão. Pretende-se demonstrar que este tipo de construção é viável e segura, tornando-se numa alternativa a métodos construtivos convencionais como o metal, ou o betão, tendo como principal objectivo dar a conhecer alternativas para tornar o sector da construção, num sector mais sustentável.

O trabalho de investigação desenvolvido nesta dissertação apoiou-se em várias pesquisas sobre as temáticas abordadas, através de referências bibliográficas, tais como teses e artigos científicos, como também através da procura via internet pela consulta de *sites* relacionados com as temáticas presentes, nomeadamente a pesquisa de marcas e fabricantes de produtos derivados de madeira, mais precisamente de painéis de CLT, no sentido de conhecer o melhor possível o seu modo de aplicação e as suas características enquanto material com função estrutural.

De seguida é elaborada uma demonstração através da utilização dos painéis de CLT, no sentido de se verificar a aplicabilidade de todos os temas abordados ao longo do trabalho teórico, com o objectivo de testar essa mesma ideia através da concepção de um protótipo, um projecto onde se verifique as questões mencionadas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

### 1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O estímulo desencadeado pelas questões mencionadas nos subcapítulos anteriores e durante o decorrer deste trabalho, proporcionou uma investigação que procurou expor o conhecimento científico relacionado com a utilização deste sistema construtivo no actual panorama da arquitectura e da construção. Com o progresso da investigação tornou-se necessário estruturar a presente dissertação em sete capítulos.

Precisamente neste capítulo 1, *Introdução Geral*, é feita uma introdução ao tema que será abordado ao longo de todo o trabalho de investigação, os objectivos do mesmo e a metodologia aplicada.

O capítulo 2, *Preocupações Ambientais*, é efectivamente o mote para se entender a importância e o interesse que a madeira tem enquanto material construtivo, onde são mencionadas as questões climáticas como consequência de um constante crescimento populacional e urbano, onde o sector da construção tem um papel preponderante, na medida em que cria impacto no meio ambiente. No sentido de reverter essa situação revela-se a importância de se garantir uma correcta gestão das florestas no que diz respeito à sua utilização e desenvolvimento económico associado.

No capítulo 3, *A madeira e o seu potencial*, são descritas as suas características, bem como as suas propriedades físicas e mecânicas, no sentido de se entender o correcto funcionamento deste material no momento de se optar pelo mesmo para aplicar ao nível da construção. São ainda enumerados os vários produtos que derivam da madeira, como por exemplo o contraplacado e ainda as várias fases de fabricação dos mesmos.

No capítulo 4, *Sistemas estruturais de madeira, avanços tecnológicos e soluções construtivas*, são mencionados os vários princípios a considerar no acto de conceber uma estrutura de um edifício, bem como as forças a que a mesma estará sujeita ao longo do seu tempo de utilização. São também referidos os três principais sistemas construtivos que derivam da madeira, nomeadamente pilar-viga, aligeirado e maciço, em que de acordo com os sistemas construtivos que recorrem a painéis de madeira maciça, destaca-se os três considerados mais relevantes, tendo em conta o facto de o seu funcionamento estrutural ser semelhante: *Nail Laminated Timber*, *Dowel Laminated Timber*, *Cross Laminated Timber*.

Ao longo deste capítulo são ainda mencionados os avanços tecnológicos a que se assistiram nas últimas décadas, relacionados com a pré-fabricação de produtos de madeira e consequentemente a sua normalização, que por sua vez possibilitaram a expansão das casas modulares pré-fabricadas, no mercado da construção, que demonstram ter como uma das principais preocupações ao nível da sua concepção ainda em fase de projecto de arquitectura, medidas de eficiência energética.

O funcionamento do sistema construtivo dos painéis de CLT é finalmente abordado no capítulo 5, *CLT: Cross Laminated Timber*, onde se revela também a sua aplicabilidade em contexto de obra e onde são enumeradas as diversas vantagens e desvantagens no que diz respeito à sua utilização.

No capítulo 6 é desvendada a regulamentação que controla e garante uma correcta aplicação destes painéis de madeira maciça. São normas e princípios regularizados ao nível de vários países europeus, tais como Portugal, Suécia, com o objectivo de se verificar uma uniformização nos requisitos que regem a aplicação deste tipo de soluções, com uma base teórica que está relacionada com o funcionamento dos materiais e das estruturas e não com os cálculos a efectuar para se chegar ao dimensionamento correcto dos elementos construtivos.

No capítulo 7 dá-se o desenvolvimento de projecto, onde se pretende levantar várias hipóteses de soluções construtivas através da aplicação dos painéis de CLT.

Por fim, encerra-se o trabalho com a conclusão, no capítulo 8.





## 2. PREOCUPAÇÕES AMBIENTAIS

### 2.1. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

#### 2.1.1. Crescimento urbano

Uma percentagem considerável das mudanças climáticas são consequência das emissões de CO<sub>2</sub>, resultantes da actividade humana, nomeadamente a queima de combustíveis fósseis, que contribuem significativamente com toneladas de emissões de carbono para a atmosfera todos os anos. Assim sendo, se um dos objectivos for apenas conter as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera será necessário reduzir as emissões globais em mais de 40%.

*Just to contain CO<sub>2</sub> concentrations in the atmosphere to their current levels would require a reduction in global emissions of more than 40%. (Tackle climate change use wood, p.10)*



Figura 1 - Alterações climáticas (Tackle Climate Change, p.9) <sup>1</sup>

Na realidade, uma redução expressiva nas emissões de gases poluentes, que por sua vez são consequência da energia proveniente de combustíveis fósseis, necessária para administrar o dia-a-dia das nossas sociedades, implicaria cortes com efeitos notáveis nas políticas regentes, no que diz respeito ao nosso consumo de energia. Existem duas formas de reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> acumulada na atmosfera: ou reduzem-se as emissões, ou remove-se CO<sub>2</sub> e armazena-se. Ou seja, será um bom princípio diminuir as fontes de carbono e aumentar a capacidade de armazenamento do mesmo.

No entanto, a tendência para o aumento da emissão de gases poluentes para a atmosfera pode ser invertida ou, pelo menos, minimizada com a implementação de políticas que proponham uma mudança estrutural na construção urbana, passando por exemplo pela utilização da madeira como principal material na construção. Isto porque a construção em grande escala nos grandes centros urbanos, para dar resposta ao crescimento populacional, tem também tendência a aumentar, contribuindo por sua vez para as alterações climáticas no planeta.

<sup>1</sup> Tackle Climate Change: Use wood. Disponível em: <https://www.jular.pt/files/pdfs/71/Tackle-climate-change-use-wood.pdf>

Contudo, actualmente assiste-se a uma vontade de mudança de paradigma relativamente às cidades em que habitamos. Correntemente consideram-se termos negativos associados às mesmas, tais como “selva de betão”, mas que graças à arquitectura que se pratica nos dias de hoje, mais inovadora e preocupada com questões ambientais, bem como à necessidade de mudança da imagem da paisagem urbana, verifica-se que as cidades estão a reposicionar-se dentro deste padrão.

Habitualmente associa-se a construção em madeira mais ao contexto rural, no entanto através de planos urbanos mais arrojados, projectos arquitectónicos mais inovadores e de novas ideias no que diz respeito à utilização dos materiais, presencia-se um renascimento da utilização da madeira na construção e no design, garantindo-se o potencial para melhorar a vida dos habitantes actuais, bem como dos futuros, no sentido de se fazer sentir uma melhoria significativa no seu relacionamento com o meio urbano.

Tipicamente as cabanas e as casas rurais são também tipos de construção que associamos facilmente ao contexto rural, no entanto esse paradigma está em mudança. A cidade elegante associada à madeira poderá não ser mais uma ideia contraditória num futuro próximo. Atendendo a uma nova qualidade de vida, que por sua vez funde a tradição e a inovação e que redefine a linha que existia entre a cidade cinzenta e o campo verde, assiste-se à utilização inovadora da madeira enquanto material de construção que tem um papel importante a desempenhar nesta mudança de mentalidades.

Ponderar os impactos que as nossas acções têm nos dias de hoje, torna-se assim muito importante no sentido de garantir que gerações futuras terão as mesmas, ou ainda melhores, condições para desenvolver as suas vidas e necessidades de sobrevivência.



**Figura 2 - Crescimento urbano**  
<http://www.tlfirst.com/responding-to-challenges-of-urban-growth-in-developing-countries/>

*Entende-se por desenvolvimento sustentável o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações do futuro satisfazerem as suas próprias necessidades. (Relatório das Nações Unidas de Brundtland: Nosso Futuro Comum)*

Esta definição traduziu-se num grande passo para um desenvolvimento sustentável, uma vez que mostra ao cidadão que este se encontra apto a satisfazer as suas necessidades actuais, mas sempre tendo em consideração as gerações vindouras, ou seja, sem ter de comprometer as capacidades e as necessidades das gerações futuras.

Por sua vez, o desenvolvimento sustentável está assente em três factores principais, nomeadamente o social, económico e ambiental, sendo por isso que se torna tão importante olhar para as alterações climáticas através destes três parâmetros.

### 2.1.2. Impacto do sector da construção

Tal como já foi referido anteriormente, sabe-se que o sector da construção é responsável por uma grande parte da poluição e do impacto negativo que provoca no meio ambiente. Por sua vez a energia necessária para fabricar os materiais que fazem parte da construção de um determinado edifício é de aproximadamente de 22% da energia total gasta durante a vida útil do edifício.

*The energy used to create the materials that make up a building is typically 22% of the total energy expended over the lifetime of the building, so is worth paying attention to the materials specified, as well as to the energy-efficiency of the structure. (Tackle climate change use wood, p.12)*



**Figura 3 – Redução de custos energéticos**  
<https://jinjaritua.com/pt/reduce-your-ecological-footprint/>

Significa portanto, que será importante despende atenção relativamente aos materiais que serão utilizados ao nível da construção, como também à eficiência energética da própria estrutura.

Para avaliar o impacto relativamente à emissão de CO<sub>2</sub> por parte de diferentes materiais de construção existem quatro áreas às quais deve ser dada a devida atenção, nomeadamente a energia usada na produção do material ou produto, a capacidade do produto economizar energia durante a sua utilização, a sua reciclagem e ainda a sua finalização, ou seja, o seu término enquanto material.

À energia que é utilizada na extracção de um determinado material ou produto dá-se o nome de energia incorporada. De um modo geral, quanto maior for a quantidade de energia incorporada, maior é a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub>. Quando comparada com materiais como o aço, o alumínio, a madeira tem um baixo nível de energia incorporada, que associada ao efeito de absorção de carbono por parte das florestas, as emissões de CO<sub>2</sub> são negativas. Mesmo que materiais como o aço ou o alumínio sejam reciclados, o seu processo geralmente requer um gasto de grandes quantidades de energia.

A indústria associada à construção é de facto um sector de extrema importância para toda a economia de todos os países do mundo, mas efectivamente implica um elevado nível de consumo de energia, o gasto de muitos recursos naturais e verifica-se sempre uma enorme quantidade de produção de resíduos. Uma vez que o sector da construção é responsável pela emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, têm sido implementadas medidas ambientais a nível mundial, no sentido de se fazer sentir uma redução significativa desta situação.

*...a quantidade de energia necessária para produzir uma tonelada de tijolos é quatro vezes superior à despendida para produzir uma tonelada de painéis de madeira... (COSTA, 2013, p.96) Hoje a indústria do cimento é uma das principais produtoras de dióxido de carbono. (ob. cit., 2013, p.96)*

Todos estes aspectos negativos estão associados à produção dos materiais e dos elementos construtivos necessários ao projecto de construção, bem como ao seu transporte e à sua efectiva montagem e construção já no local de obra. Tendo como referência todas estas circunstâncias que acabam por ser prejudiciais, principalmente a longo prazo, torna-se muito importante e urgente tomar decisões, a todos os níveis no sentido de minimizar todo este impacto.

Uma vez que a construção influencia obviamente a arquitectura e a engenharia, isto significa que vai também influenciar directamente o trabalho realizado ao nível da tomada de decisões ainda na fase de projecto, solicitando aos profissionais destas áreas que desenvolvam este tipo de trabalho no sentido de promover ideias, medidas e princípios que sigam uma linha de pensamento relacionada com conceitos como a construção sustentável, de modo a reduzir o impacto que advém desta indústria tão importante.

Neste contexto, torna-se assim relevante avaliar quais os materiais, as soluções construtivas, as medidas de construção eficientes e passivas, que podem ser utilizadas. Como tal, considera-se também pertinente levantar a hipótese de considerar a madeira um material com todo o potencial para suprir estes requisitos.

## 2.2. PORQUÊ CONSTRUIR EM MADEIRA

### 2.2.1. Contributo da madeira na redução do impacto da construção no meio ambiente

Actualmente assiste-se na Europa a um desafio de simultaneamente estimular o crescimento necessário para criar emprego e bem-estar à população, bem como garantir que esse crescimento aconteça de forma sustentada, ou seja, que se consiga conduzir esta necessidade a um futuro sustentável.

Esta é a linha de pensamento que acaba por se tornar o mote para olhar para a madeira como um material que está apto a garantir estas necessidades de sustentabilidade, uma vez que este é um material que potencia um tipo de construção mais sustentável e ecológica, quer em termos da sua produção, montagem e durabilidade, como também no que diz respeito às suas características e particularidades físicas e mecânicas. É ainda um material que promove a poupança de energia e água, garantindo salubridade, ao revelar-se um material durável e eco eficiente quando aplicado em qualquer tipo de construção, uma vez que se verifica a minimização da produção de resíduos e consegue-se um baixo índice de massa de construção.

Actualmente torna-se muito importante o estudo prévio da ecologia dos materiais de construção, no sentido de promover a poupança dos recursos naturais que estão disponíveis, graças à crescente necessidade e preocupação ambiental, quanto ao desempenho energético das soluções construtivas a adoptar. Se não acontecer uma alteração no ritmo relativamente ao uso dos recursos naturais disponíveis, verificar-se-á que a curto prazo irá haver escassez dos mesmos. O que terá como consequência uma incapacidade da humanidade em não conseguir sustentar esse crescimento de necessidade de recursos.

A madeira torna-se assim um material bastante competitivo no que diz respeito à sustentabilidade e ecologia na construção, uma vez que implica um processo de produção bastante simples, quando comparado com outro tipo de materiais. Em boa verdade trata-se de abater a árvore, extrair a sua madeira e cortá-la da forma pretendida, com a possibilidade de os elementos construtivos atingirem diversas dimensões e por fim, armazená-los nas devidas condições. Estamos, portanto, perante um processo de fabrico muito mais eficiente em termos de menor produção de energia e gasto de água, como também de uma reduzida emissão de gases CO<sub>2</sub> para a atmosfera.



**Figura 4 – Pegada ecológica**  
<https://jinjaritua.com/pt/reduce-your-ecological-footprint/>

Desta forma, todos os aspectos mencionados anteriormente tornam-se assim alguns dos mais importantes contributos da madeira no sector da construção, no sector económico de vários países e para o meio ambiente partilhado por todos nós.

### **2.2.2. Madeira, um material eficiente ao nível ambiental**

Podemos comprovar que desde muito cedo que a madeira se revela um material com excelentes propriedades e qualidades ao nível da sua aplicação nas mais diversas construções. Verifica-se a sua presença em edifícios de longa data, sendo esse um testemunho acessível a todos nós no que diz respeito à sua fiabilidade em termos construtivos, longevidade e durabilidade, quando aplicados os necessários tratamentos e métodos de manutenção.

Estamos portanto, perante um material eco eficiente, por diversas razões, desde a sua durabilidade, adoptando as devidas medidas de manutenção, à sua capacidade de reutilização, até ao seu tipo de produção em fábrica, que por sua vez implica baixos níveis de gasto de energia. Comparado com os processos de fabrico e de transformação do betão, ou do aço, por exemplo, o custo energético, de produção e de transformação da madeira é significativamente inferior aos materiais anteriormente mencionados.

É ainda de salientar o facto de ser possível aproveitar e reutilizar a pouca quantidade de resíduos que se verificam, dando lugar a produtos derivados da madeira, ou até mesmo para uso de objectos de carpintaria. Por ser um material pré-fabricado está provado que o impacto que a madeira causa no próprio lugar da obra, é mínimo. Uma vez que já sai da fábrica com as dimensões correctas, baseadas num projecto de arquitectura, já não se sente a necessidade de cortar ou fazer alterações nestes elementos em contexto de obra. Desta forma reduzem-se os resíduos. A estas vantagens enumeradas anteriormente adicionam-se outras mais, nomeadamente o facto de ser considerado um material natural, isento de toxicidade, reciclável e renovável.

A madeira encerra em si outra característica muito peculiar, quando comparada com todos os outros materiais de construção, que é o facto de não perder a sua capacidade de retenção de CO<sub>2</sub>, apesar de ter feito parte de uma árvore, que entretanto foi abatida.

A verdade é que a madeira utilizada como principal material ao nível da construção funciona como um reservatório de dióxido de carbono, devolvendo-o ao ambiente apenas no momento de combustão ou durante a sua decomposição.

Assim sendo, a madeira será certamente um dos factores chave no combate às emissões de gases nocivos ao meio ambiente, uma vez que é um material da natureza, reciclável, renovável e que possui esta capacidade de armazenamento de dióxido de carbono.

É na realidade, um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem, considerada um produto estrutural ou de revestimento, diferenciando-se de materiais como o aço e o betão, por ser orgânica. Em boa verdade, a madeira contém em si características físicas e mecânicas muito peculiares, sendo parte constituinte da estrutura de suporte da árvore, acabando por se tornar num material naturalmente muito resistente, já expressa pela resistência à flexão demonstrada pelo seu comportamento ao vento.



### **2.3. A MADEIRA APLICADA NA CONSTRUÇÃO**

Durante as últimas décadas do século XX assistiu-se a uma substituição do uso da madeira por outros materiais construtivos. Por se ter a convicção de que a madeira era um material menos resistente ao fogo e de menor qualidade construtiva do que outros, deixou-se gradualmente de utilizar a madeira como elemento estrutural.

Actualmente na Europa verifica-se um aumento crescente no interesse em voltar a construir em madeira, principalmente em edifícios de pequena e média dimensão. Construir este tipo de edifícios torna-se possível porque acontece uma standartização e renovação de elementos construtivos em madeira, assim como também são introduzidos códigos de resistência ao fogo aplicados à madeira.

Num projecto de construção que visa tornar-se sustentável existem alguns factores relevantes a considerar durante a sua construção, nomeadamente a minimização dos custos do ciclo de vida do edifício, bem como economizar energia e água. Torna-se também importante maximizar a durabilidade dos materiais construtivos e consequentemente de toda a construção, minimizar a produção de resíduos durante o seu processo de montagem e também assegurar a salubridade do edifício. Neste sentido devem ser utilizados materiais eco eficientes.

Está comprovado que os seres humanos sentem-se confortáveis num determinado nível de humidade e temperatura, ou seja, humidade ou temperatura a mais, ou até mesmo a menos, provocam desconforto. Desta forma, conforto, saúde e energia são factores que estão directamente relacionados com a temperatura e humidades que se vivem no interior de um determinado edifício.

Neste sentido, com o objectivo de gerir o ambiente interior foram criados métodos de controlo de energia passivos e económicos, isto porque uma utilização correcta tendo em conta os níveis de humidade e de calor, faz com que se baixe tendencialmente o consumo energético, sem que por isso se afecte o conforto térmico.

A importância de se conhecer previamente as características físicas de materiais como a madeira torna-se fundamental, para as opções a tomar ainda na fase de projecto, uma vez que neste caso a madeira poderá ajudar a regular e assim garantir a qualidade do ar no interior dos edifícios, graças ao facto de ser um material higroscópico, dentro de certos parâmetros, a madeira permite assim manter os níveis de humidade relativa nos espaços interiores de forma adequada. Esta é uma das razões pela qual se verificam níveis muito satisfatórios de conforto ambiental e eficiência energética, ao optar pela utilização da madeira.

A madeira torna-se assim uma boa alternativa ao uso excessivo de equipamentos mecânicos de arrefecimento e aquecimento, considerada também um adequado absorvente de calor e humidade, principalmente quando se encontra à vista. Tal como foi mencionado anteriormente, devido ao seu carácter higroscópico, a madeira ajuda a contribuir para um melhor conforto interno passivo, tornando-se possível reduzir a necessidade de compensar a construção através do aquecimento ou arrefecimento do espaço. É portanto um material associado à poupança energética, garantindo o controlo da humidade e da temperatura.

Em construções de madeira nacionais e em países nórdicos a madeira é utilizada com o objectivo de aquecer o interior das habitações, evitando-se perdas térmicas elevadas.

*No fundo, a construção da habitação é a busca pelo conforto,  
sendo esse atingido através do controlo da temperatura.*  
(MONTEIRO, 2003, p.42)

Associada a elementos de decoração, como também a elementos estruturais, a madeira é um dos materiais de construção mais polivalentes que temos ao nosso dispor, característica que tem o seu fundamento em aspectos como a sua robustez e elegância, as suas qualidades térmicas e acústicas, bem como ergonómicas. A sua disponibilidade num vasto leque de densidades, cores, texturas e espécies e a grande oferta de produtos concretizados em madeira maciça e derivados, o facto de estar também disponível um grande número de meios de união e fixação de alta qualidade, a sua produção e transformação associadas a consumos reduzidos de energia fóssil, resultam em altas taxas de sustentabilidade ambiental. E por fim, a sua inércia térmica, como também a boa relação que estabelece entre o seu peso e a resistência mecânica são todas elas, qualidades apreciadas na utilização da madeira como material de construção.

*Tendo em conta a boa atmosfera criada no interior das construções derivada do cheiro, da cor e das texturas que a madeira pode ter ao longo do seu processo de envelhecimento, construir em madeira é construir o futuro com consciência ambiental e ecológica. (MONTEIRO, 2003, p.42)*

A sua versatilidade acaba por estar relacionada não só com as suas características físicas e mecânicas, mas também e não menos importante, com a sua aplicabilidade. Quer isto dizer que, durante a fase de projecto, utilizando a madeira como elemento primordial à execução do mesmo, é possível prever a substituição da maioria das peças utilizadas, caso estas acabem por ficar danificadas, ou pela má utilização, ou ainda por questões de desempenho estrutural. Uma vez que se tratam de elementos individuais, ligados entre si, encerram em si esta grande vantagem, promovendo-se assim o bom desempenho da construção, ao longo do tempo, na sua totalidade.

A madeira acaba por ser um material que permite elaborar um projecto de arquitectura tendo como base estratégias passivas de construção. Através da elaboração de bons pormenores construtivos, que por sua vez acabam por se tornar numa forma de evitar pontes térmicas, da implementação de uma boa ventilação natural do edifício e da previsão de estratégias de preservação e conservação do edifício, estão a ser garantidas medidas que ajudam a potenciar o bom desempenho energético no interior do edifício, reduzindo-se assim os consumos de energia, que por vezes são necessários para manter o conforto térmico no seu interior.

Actualmente foi possível conferir à madeira, através de processos inovadores tecnológicos, as mesmas capacidades ou ainda melhores que o betão armado, ou o metal e com a utilização da madeira na construção e de outros produtos que derivam da mesma, ao invés de outros materiais, consegue-se economizar várias toneladas de CO<sub>2</sub> por metro cúbico.

Por exemplo, se uma determinada laje feita em aço for substituída por outra semelhante, mas feita a partir de produtos que derivam de madeira, poderá verificar-se uma redução em termos de emissão de gases poluentes, equivalente a 10 toneladas de dióxido de carbono, para cada tonelada de madeira usada.

Por outro lado, se forem usados elementos estruturais de madeira, em vez de betão armado, pode também reduzir-se a quantidade de emissão de dióxido de carbono em cerca de 3,5 toneladas, por cada tonelada de madeira utilizada.

*For example, if you replace a steel floor structure with one made from wood-based material such as CLT, you can reduce the carbon footprint by almost 10 tonnes of carbon dioxide for every tonne of wood used. In another example, the use of timber elements instead of reinforced concrete slabs can reduce the amount of carbon dioxide by about 3,5 tonnes per tonne of wood used. (The future of timber construction CLT – CROSS LAMINATED TIMBER. Stora Enso, p.19)*

Significa portanto, que numa construção que recorre à madeira como material de construção principal, pode atingir-se uma pegada de carbono negativa, graças à sua capacidade de armazenamento de dióxido de carbono, durante todo o seu tempo de vida útil. Cada metro cúbico de madeira usado como substituto de outros materiais de construção reduz as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera em uma média de 1,1 toneladas de CO<sub>2</sub>.

*Every cubic metre of wood used as substitute for other building materials reduces CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere by an average of 1,1t CO<sub>2</sub>. (Tackle climate change, p.7)*

É também um material com grande interesse pelo seu aspecto estético, pela sua versatilidade estrutural, o seu custo de produção, montagem e o facto de ser um material renovável, que por sua vez implica um baixo consumo energético. Ao optar pela construção em madeira, podemos afirmar que enfrentamos muito menos condicionantes, graças ao aparecimento de novos materiais que derivam da mesma e às técnicas de construção em constante desenvolvimento.

O futuro auspicioso deste tipo de construção está também relacionado com inúmeros factores, nomeadamente com a enorme possibilidade de se reciclar este recurso natural e com a poupança energética, que se verifica ao construir-se utilizando a madeira, poupança essa superior a qualquer outro sistema construtivo convencional, como também com a aplicação de políticas de gestão florestal, uma vez que a madeira é uma fonte de matéria-prima inesgotável.

Construir mais em madeira está também relacionado com o investimento em pesquisa avançada para o desenvolvimento de novos sistemas de fixação e união entre os vários elementos de madeira, como também para a construção com painéis, com perfis de madeira reconstituída e tratamentos bioquímicos, que por sua vez aumentam a durabilidade das peças. Por fim, prevê-se optar por construir mais recorrendo-se à madeira como material primordial, pelo facto de ser possível tornar esta indústria mais rentável, através do aproveitamento de todos os pedaços de madeira, dando origem a novos materiais e a uma indústria mais rentável e sustentável, uma vez que se reduz a quantidade de desperdício decorrente da pré-fabricação.

## 2.4. IMPACTO QUE A UTILIZAÇÃO DA MADEIRA CAUSA NAS FLORESTAS: DEMANDA ECONÓMICA E GESTÃO DAS FLORESTAS

Utilizar a madeira como elemento de construção é o factor chave que contribui para que se verifiquem inúmeras vantagens tanto ao nível da construção, económico e ambiental. Esta é a lógica necessária para que se criem políticas e medidas governativas, que assegurem por um lado uma gestão eficaz do património florestal, como também uma boa eficiência ao nível do sector da construção de modo a reduzir o seu impacto ambiental.

De forma a promover-se cada vez mais a construção de edifícios em madeira existem dois factores que merecem ser analisados com atenção, tornando-se por sua vez os impulsionadores económicos para que este sector construtivo aumente cada vez mais e de forma organizada e bem gerida.

Por um lado, a tendência natural a que se assiste ao nível da população mundial é a um aumento progressivo do número de habitantes no planeta. Significa portanto, que tão depressa não vamos parar de construir, porque existirá sempre uma necessidade de garantir habitação e infra-estruturas para todos. Logo se a tendência é de continuar a construir, devido ao aumento populacional mundial, fará sentido plantar-se mais árvores para garantir madeira suficiente para a construção. Isto porque optar por construir em madeira será uma solução equilibrada, viável e eficiente a todos os níveis.

Por outro lado, se existir mais quantidade de floresta significa que estamos a contribuir para a diminuição da concentração de gases poluentes na atmosfera a curto, médio e longo prazo, graças às características particulares que a madeira possui para reter CO<sub>2</sub>.



**Figura 5 – Gestão das florestas**  
<https://www.timberbiz.com.au/demand-for-wood-eats-into-european-forests/>



**Figura 6 – Extração de madeira**  
<https://www.naturallywood.com/sustainable-forests/forest-management/interior-forests>

Através da existência e manutenção das florestas garante-se que várias questões se tornam numa mais-valia, nomeadamente a conservação da natureza, a preservação da biodiversidade e ainda o facto de as mesmas armazenarem CO<sub>2</sub> e contribuírem para a produção comercial da madeira.

Erradamente o público em geral acredita que ao construir recorrendo-se a materiais que derivam da madeira, está a cometer-se um grande erro, mas na verdade não, efectivamente acontece precisamente a situação contrária.

Com o aumento do preço do petróleo verifica-se que o sector florestal para além de fornecer materiais alternativos, torna-se também uma fonte sustentável de bioenergia, na medida em que o material lenhoso tem um potencial considerável para ajudar a sustentar a economia global futura.

Se for opção construir utilizando a madeira implica portanto mais plantação de árvores, então será necessário medidas económicas eficazes na gestão do património florestal, no sentido de o manter sustentado e devidamente organizado e planeado, recorrendo-se às devidas manutenções sempre que necessárias. Ao promover a florestação está a promover-se consequentemente a criação de mais paisagem florestal, que em boa verdade ao contrário do que também é de conhecimento geral, a paisagem natural (à excepção de algumas situações) é fruto de mão humana.

Significa por isso que o futuro do sector florestal depende directamente das suas florestas. Ou seja, a estabilidade necessária para que as florestas continuem a prosperar está relacionada com a formulação de regulamentos, que por sua vez exijam o reforestamento das árvores que foram abatidas e por outro lado com o desenvolvimento de normas de certificação. Na realidade, a sobrevivência de uma determinada floresta depende significativamente do seu valor para a comunidade local.

A indústria florestal europeia reconhece que o seu futuro e viabilidade estão directamente ligados à protecção e expansão das suas florestas, ou seja, esta premissa juntamente com leis e regulamentos implementados e consequentemente aplicados, indicam que é necessário plantar um maior número de árvores, do que aquelas que são colhidas, o que por sua vez se verifica, na medida em que actualmente a área florestal está constantemente a aumentar.

*As stated earlier, only 64% of the annual increment of European forests is harvest and the forest area is ever-increasing. (Tackle climate change, p.24)*

Na verdade, todos os países têm práticas que exigem reflorestamento, no entanto essa gestão dependerá sempre da espécie arbórea, do local da plantação e ainda do sistema de manutenção aplicado ao local. Ao contrário da ideia preconcebida que se possa ter adquirido, na verdade as florestas que são sujeitas a manutenção e uma política de gestão adequada, tornam-se depósitos de carbono mais eficientes do que florestas que são deixadas num estado natural.

Através da gestão garantida ao nível do florestamento é possível acompanhar em geral o processo de crescimento das árvores. Efectivamente as árvores mais jovens, em plena fase de crescimento absorvem mais CO<sub>2</sub> do que as árvores já maduras. Por sua vez, as árvores em fase final de crescimento, se não forem abatidas acabarão por morrer, apodrecer e decompor-se, fazendo com que uma grande quantidade de dióxido de carbono que tinham armazenado no seu interior retorne para a atmosfera. É precisamente o facto de se abater as árvores à medida que estas amadurecem, através de uma correcta gestão do crescimento das mesmas e da extracção da madeira, que permite que grande parte da quantidade de carbono se mantenha armazenado durante todo o tempo de vida útil dos produtos resultantes da madeira. Este é na verdade o ciclo que dá à indústria um estímulo para continuar a plantar novas árvores no lugar das que foram abatidas.

No momento em que a madeira já não tem forma de ser novamente aproveitada ou reciclada, pode produzir-se energia através da utilização da mesma por meio de combustão, revelando-se um processo neutro no que diz respeito à emissão de gases poluentes.

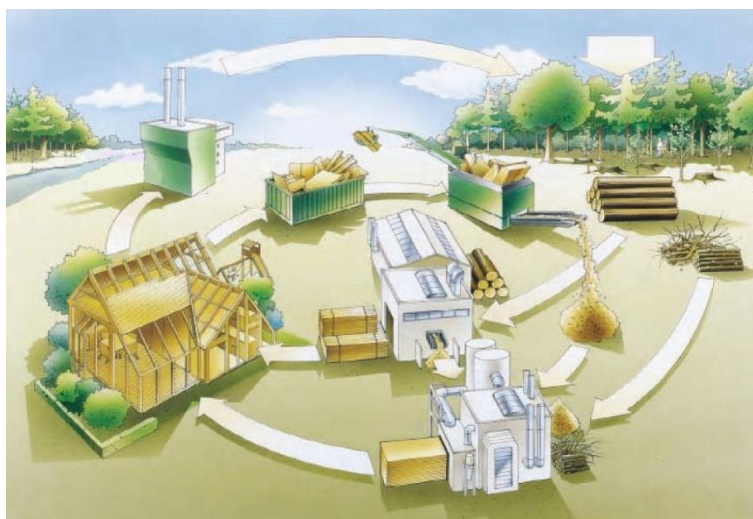
*As the amount of CO<sub>2</sub> emitted from combustion is no more than amount previously stored, burning wood is carbon neutral, a fact well understood by the wood industry which derives up to 75% to the energy it uses to process wood from wood by-products. (Tackle climate change use wood, p.12)*



Assim sendo, este é o incentivo necessário para se manter a qualidade e a quantidade de florestas, atendendo às propriedades da madeira que manifestam ser bastante adequadas na sua utilização enquanto material, que por sua vez tem a capacidade de armazenar CO<sub>2</sub> durante toda a sua vida útil.

Desta forma, podem advir destas questões benefícios económicos como também ecológicos e ambientais. Quanto mais longo for o tempo de duração de uma peça de madeira, mais benéfico se torna para o meio ambiente, uma vez que se traduz num melhor uso dos recursos florestais disponíveis, mas também por outro lado reduz a energia necessária para substituir outros produtos usados, pela própria madeira.

*According to recent estimates, the average life of wood products varies between 2 months for newspapers and 75 years for structural wood. (Tackle climate change use wood, p.14)*



**Figura 7 – Ciclo da utilização da madeira** (Tackle climate change, p.49) <sup>2</sup>

Significa portanto que aumentar o uso da madeira, aplicada em qualquer circunstância, quer seja na construção, na decoração, constitui uma forma simples de reduzir o impacto relativamente às mudanças climáticas.

A aplicação da madeira enquanto material, seja ao nível da construção, da decoração, não é um factor destrutivo para as florestas, antes pelo contrário, através de uma maior utilização da madeira é criado um valor de mercado associado às florestas, que acaba por se tornar num incentivo para as preservar.

<sup>2</sup> Tackle Climate Change: Use wood. Disponível em: <https://www.jular.pt/files/pdfs/71/Tackle-climate-change-use-wood.pdf>

Promover o mercado associado à comercialização de produtos de madeira ajuda de alguma forma várias entidades a olhar para a floresta segundo um panorama diferente, reconhecendo a sua contribuição para as economias locais e nacionais. Verifica-se inclusivamente que quando a prosperidade de uma comunidade local está dependente da boa gestão de uma floresta, os princípios para a manter em bom estado de conservação e ao mesmo tempo sustentável, começam a ser respeitados.

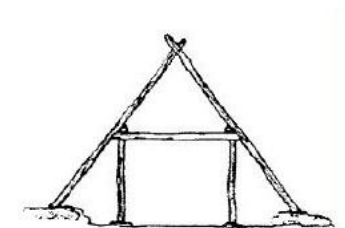
### 3. MADEIRA E O SEU POTENCIAL

#### 3.1. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

##### 3.1.1. A madeira ao longo do tempo



**Figura 8 – Troço de madeira**  
<https://www.novibelo.com/mobiliario/tipos-madeira-mobiliario/>



**Figura 9 – Estrutura elementar de madeira** (COSTA, 2013, p.6)

A madeira é um material orgânico extraída dos tecidos que formam as plantas lenhosas. Naturalmente é um material resistente e leve, quando comparado com outros materiais de construção, sendo possível a sua utilização para fins estruturais e de sustentação de construções.

Quando o homem se torna sedentário, começa a sentir necessidade de construir o seu próprio abrigo para se proteger, utilizando as ferramentas e materiais que encontra imediatamente disponíveis na natureza, desta forma o homem deixa de habitar a caverna e dá início ao uso da madeira. A estrutura mais elementar de madeira executada pelo homem nasce com a forma de dois paus cravados no solo e ligados nas extremidades por elementos vegetais. Verifica que a madeira é um material relativamente leve, resistente e fácil de trabalhar, quando comparada com outro tipo de materiais de construção, com comprimentos e diâmetros variáveis, possibilitando-o abandonar a caverna. Verifica também que a necessidade de criar espaços cada vez mais amplos faz com que as estruturas criadas sejam cada vez mais complexas.

A madeira torna-se assim um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem, considerada um produto estrutural ou de revestimento, diferenciando-se de materiais como o aço e o betão, por ser orgânica. Contém em si características físicas e mecânicas muito peculiares, sendo parte constituinte da estrutura de suporte da árvore, acabando por se tornar num material naturalmente muito resistente, uma vez que o vento que encontra resistência ao passar pela árvore confere-lhe uma excelente resistência à flexão.



**Figura 10 – Cidade lacustre na Suíça**

<https://www.swissinfo.ch/por/povoa%C3%A7%C3%B5es-lacustres--candidatas-%C3%A0-chancela-da-unesco/8670684>

São as construções antigas concebidas em madeira, que se vão mantendo até aos nossos dias, que nos mostram a qualidade deste material. Por exemplo, as cidades lacustres, das quais ainda podemos encontrar vestígios na Suíça, ainda do tempo da Pré-História e hoje visitáveis em reconstruções, demonstram a longa durabilidade da utilização da madeira e o seu desenvolvimento na arte de construir estruturas resistentes, desde a estacaria às plataformas de acesso às habitações.

Associada a elementos de decoração e estruturais, a madeira é um dos materiais de construção mais polivalentes que temos à nossa disposição, característica que tem o seu fundamento em aspectos como a sua robustez e elegância, as suas qualidades térmicas e acústicas, bem como ergonómicas. A sua disponibilidade num vasto leque de densidades, resistências, cores, texturas e espécies, tal como a grande oferta de produtos concretizados em madeira maciça e derivados, o facto de estar também disponível um grande número de meios de união e fixação de alta qualidade, assim como a sua produção e transformação associadas a consumos reduzidos de energia fóssil, que resultam em altas taxas de sustentabilidade para o meio ambiente e por fim, a sua inércia térmica muito apreciada, como também a boa relação que estabelece entre o seu peso e a sua resistência mecânica são todas elas, qualidades apreciadas na utilização da madeira como material de construção.

Atendendo ao facto de a madeira ser um material usado na construção desde sempre pode constatar-se que a arte do carpinteiro é anterior à de pedreiro, tonando-se assim no artífice mais importante na construção das edificações. A sua intervenção tornou-se primordial na resolução de difíceis problemas de vencimento de vãos desde nas habitações, até às primeiras fortificações, passando também pelos edifícios religiosos. Por outro lado a actividade de pedreiro surge mais tarde quando o homem precisa de fraccionar a pedra em blocos facilmente manuseáveis.

### **3.1.2. Construir em madeira**

Analisar a história da arquitectura e da construção utilizando a madeira como material de construção primordial, passa também por verificar a disponibilidade que havia desta matéria-prima, ou seja, nos lugares em que existia abundância de madeira, podemos constatar que predominavam os edifícios concebidos neste mesmo material. Uma das causas que contribui para este facto é também o fácil acesso, em termos financeiros a esta matéria-prima, que por existir em abundância, o seu custo acabava por ser mais reduzido.

Por outro lado, a abundância de madeira proveniente das florestas de todo o mundo mas principalmente no Norte da Europa, incentivou a um uso intenso deste material poucos critérios de gestão deste recurso, que apesar de ser renovável, fez com que se assistisse a uma diminuição das áreas ocupadas por esta matéria-prima.

Na Europa, a época mais crítica associada ao uso excessivo de madeira foi a Época Medieval, devido ao crescimento demográfico que se verificou neste período da história, assistindo-se ao crescimento de cidades e vilas, o que teve como consequência a necessidade de garantir alojamento para cada vez mais população, causando assim um grande impacto negativo na utilização deste recurso natural.

Associada à utilização da madeira na construção podemos verificar que existem várias vantagens, nomeadamente o facto de as suas reservas se renovarem por si mesmas, sendo possível de se obter grandes quantidades de material a um custo relativamente baixo. Existe ainda a possibilidade de ser produzida em peças com dimensões estruturais consideráveis, mas que rapidamente podem ser desdobradas em peças mais pequenas, com outras utilizações. É também possível trabalhar este recurso natural com ferramentas simples e utilizar o mesmo elemento várias vezes.

A madeira é um material que possui uma baixa massa volúmica, com uma elevada resistência mecânica, sendo o primeiro material empregue na construção, no qual se verificou ter a capacidade de resistir a esforços de compressão, tracção e flexão. Revela-se ainda um material com um bom desempenho de resistência mecânica face à flexão e a tensões tangenciais, cerca de dez vezes superior ao betão numa relação de peso próprio.

A madeira tem uma relação entre resistência e peso próprio muito boa, na medida em que é um material que consegue fornecer a mesma resistência face a forças aplicadas, com uma estrutura consideravelmente mais leve do que uma estrutura concebida em aço ou em betão.

Outras das características associadas a este material de construção são ainda o facto de permitir ligações simples e emendas nas peças relativamente fáceis e rápidas de executar, bem como o facto de apresentar boas condições naturais de isolamento térmico e de absorção acústica.

Por outro lado, no que diz respeito às desvantagens que a madeira revela enquanto material construtivo pode verificar-se a sua vulnerabilidade face a agentes externos, que provocam a sua degradação, resultando numa durabilidade limitada, principalmente quando não é tratada ou protegida devidamente. O facto de ser um material combustível causa algum desconforto no público em geral, bem como o facto de estar sujeita a algumas variações dimensionais causadas pelo ambiente externo, nomeadamente variações de humidade.

Estas desvantagens traduzem-se em alguns inconvenientes que por sua vez, fizeram com que a madeira fosse substituída pelo aço e pelo betão nos processos construtivos de edifícios, utilizada apenas na execução de estruturas provisórias ou em cofragens.

A madeira volta a ser novamente utilizada na construção no momento em que as suas características negativas são anuladas, através da evolução e desenvolvimento ao nível das suas técnicas construtivas e do conhecimento adquirido sobre as suas características e comportamento enquanto material construtivo. Algumas dessas técnicas estão relacionadas com processos desenvolvidos de secagem artificial controlada, com o objectivo de não permitir a degradação das suas propriedades, bem como tratamentos de preservação para evitar a deterioração da madeira pelos seus predadores e ainda o facto de se conseguir diminuir significativamente algumas das suas limitações relacionadas com as suas características anisotrópicas e de heterogeneidade através de processos de transformação de elementos de madeira maciços em laminados, contraplacados e aglomerados de madeira.

### 3.1.3. Madeira em Portugal

Durante a Idade Média, no caso de Portugal, tal como se verifica noutras partes do mundo, a madeira teve um papel muito importante na construção, principalmente enquanto elemento construtivo estrutural. Assiste-se a um desenvolvimento do uso da madeira ao ponto de ser possível a construção de edifícios até 5 a 6 pisos de altura.

O acontecimento português com mais destaque é o período Pombalino, com a reconstrução da Baixa da cidade de Lisboa, logo após o terramoto de 1755, onde a madeira enquanto material utilizada em sistemas construtivos desempenhou um papel fundamental na arquitectura e na construção. Devido à preocupação extrema de evitar que se repetisse o mesmo grau de destruição verificado com o decorrer do sismo, houve a necessidade de destacar várias personalidades, nomeadamente Eugénio dos Santos, Carlos Mardel, engenheiros e arquitectos militares, com aptidões notórias, para conceber uma estrutura inovadora tanto em termos de funcionamento estrutural, como também ao nível da sua resistência aos sismos. Essa seria uma estrutura totalmente constituída por elementos de madeira, ligados entre si, que garantiam um bom travamento a todo o edifício e elasticidade a toda a estrutura, designada por Gaiola.



**Figura 11 – Construção pombalina**  
<http://www.adn.pt/pt/noticias-3/obras-de-reabilitacao-edificio-pombalino-10/>



**Figura 12 – Edifício Pombalino**  
<http://blog.imobiliario.com.pt/2016/01/edifício-ouro-grand-concluído-em-2017.html>

Por sua vez o preenchimento das paredes entre os elementos estruturais de madeira deixa de ser feito com areia e argila e passa a utilizar-se alvenaria de tijolo, com o objectivo de aumentar a elasticidade da parede o suficiente para contrariar os efeitos de contracção e torção da madeira, de modo a não estalar com tanta facilidade.

Posteriormente à época Pombalina, no que diz respeito à construção em Portugal, continuava a utilizar-se a madeira como elemento constituinte desde a estrutura do edifício, até ao mobiliário, a elementos decorativos e de acabamentos como rodapés, portas.



**Figura 13 - Altice Arena**  
<https://madeiraestrutural.wordpress.com/2009/05/25/26/>

No início do século XX, assiste-se em Portugal à deslocação de famílias inteiras para as grandes cidades, na esperança de encontrar uma vida melhor. No entanto, com o aumento progressivo da população verifica-se uma grave deficiência na resposta da quantidade de habitação para tantas pessoas, que obviamente era insuficiente. Para colmatar esta situação foram criadas habitações sociais através de estruturas pré-fabricadas em madeira, o que significa que a partir deste momento este tipo de estruturas pré-fabricadas passam a ser vistas como uma solução para as carências habitacionais, associando-se assim a madeira como algo precário, temporário e de baixa qualidade arquitectónica.



**Figura 14 - Estrutura da madeira do Altice Arena**  
<https://www.logisticaetransporteshoje.com/transportes/google-tesla-e-mit-vem-a-portugal-falar-de-tecnologia/>

Desde o século anterior, que apesar de a madeira continuar a ser usada para mobiliário, portas, janelas, a verdade é que este material construtivo acabou por despertar menos interesse no público para servir de elemento estrutural. Ainda no que diz respeito à construção em madeira em Portugal, verifica-se que no século passado, a determinada altura, deixou de se construir em madeira, tal como mencionado anteriormente, quer utilizando o próprio material, quer enquanto sistema construtivo. A madeira foi sendo substituída, de forma gradual, por materiais onde se tornava possível controlar as suas propriedades físicas e mecânicas, através de mão humana. A mudança deste tipo de mentalidade ocorre apenas em 1998, com a elaboração da Expo98, com a construção do Altice Arena, estrutura essa concebida em madeira.

É neste momento que se dá o início do aumento da competitividade das construções em madeira, uma vez que foram industrializadas várias empresas neste sector da transformação da madeira, como também se assiste ao aparecimento da indústria da pré-fabricação de estruturas. Enquanto que em Portugal apenas 5% da construção utiliza a madeira para construir, em muitos países nórdicos a madeira tem um papel primordial, representando 80% a 85% da sua construção. São situações bem distintas que podem estar relacionadas com vários factores, desde questões de tradição, educação, convicções, decisões políticas. Em Portugal, tem-se a convicção de que construir em madeira está associado a uma construção frágil e que facilmente entra em combustão.

Por outro lado, em países desenvolvidos como por exemplo nos EUA, no Canadá, ou no Japão a madeira nunca perdeu notoriedade continuando a ser o material mais utilizado na construção de habitação.

#### **3.1.4. Voltar a construir em madeira**

A madeira torna-se assim num dos materiais de construção mais nobres e antigos utilizados pelo Homem.

Até ao século XX a madeira era um dos principais materiais de construção, em que a sua utilização evoluiu em paralelo com os progressos tecnológicos, que até à data eram limitados. No entanto, esta situação altera-se, porque dá-se o aparecimento do betão armado, que por sua vez permitiu, por um lado acompanhar as exigências do desenvolvimento industrial e por outro permitiu o aparecimento de modernas e arrojadas estruturas. Essas estruturas eram apoiadas em cálculos cada vez mais precisos e no conhecimento aprofundado das propriedades dos materiais, fazendo com que estas fossem questões que transmitiam segurança a quem pretendia construir, principalmente em altura.

Em boa verdade, foi com a Revolução Industrial que houve uma grande diminuição na construção concebida em madeira, sendo esta uma opção a ser aplicada apenas em construções mais pequenas. No entanto foi também com o decorrer da Revolução Industrial que surgiram novas técnicas de construção, nomeadamente ferramentas metálicas que permitiram cortar e moldar os materiais provenientes de madeira, de forma eficaz.



Com a introdução do betão armado e com a facilidade em controlar a sua utilização verificou-se uma diminuição da utilização da madeira como principal material de construção, ficando associada a algo que era precário, temporário, de baixa qualidade arquitectónica e de baixa durabilidade, principalmente quando comparada com outro tipo de materiais com o aço ou o betão armado. Estas são convicções que em boa verdade permanecem na grande maioria da população até aos dias de hoje.

É com o início da utilização do betão armado como solução construtiva, desde aproximadamente 1940, que se assiste ao desuso da madeira enquanto material para conceber estruturas em edifícios, verificando-se assim a continuidade do uso do betão armado enquanto sistema construtivo mais utilizado até aos dias de hoje. Por outro lado, em paralelo assiste-se a uma contínua evolução e inovação dos sistemas construtivos de madeira nos países onde este recurso natural nunca deixou de ser utilizado, como tal podemos considerar que *construir em madeira é uma opção e não uma necessidade*. (ALMEIDA, 2009, p.2)

Hoje em dia gradualmente assiste-se a uma mudança de mentalidades, uma vez que se verifica um interesse crescente no sentido de voltar a utilizar este material aplicado a uma série de soluções construtivas. Actualmente, ao optar pela construção em madeira, podemos afirmar que enfrentamos muito menos condicionantes, graças ao aparecimento de novos materiais que derivam da mesma e às técnicas de construção em constante desenvolvimento.

A madeira tem todo o potencial para voltar a afirmar-se na construção por todo o mundo, devido às vantagens que possui, nomeadamente à sua ductilidade e baixo peso próprio, contendo ainda em si mesma a capacidade de adaptar-se a diferentes tipos de climas e solos, devido à sua leveza.

Actualmente verifica-se que existe uma vontade de voltar a utilizar a madeira como material principal de construção, isto porque estão disponíveis meios mais eficazes para executar as ligações entre estes elementos construtivos. Por outro lado, um melhor e mais abrangente conhecimento sobre as características da madeira, tanto físicas como mecânicas, bem como o progresso e desenvolvimento tecnológico ao nível da utilização dos contraplacados e aglomerados, são algumas das manifestações que levam a novas perspectivas de aplicação da madeira na construção civil.

O futuro auspicioso deste tipo de construção está relacionado com inúmeros factores, nomeadamente com a possibilidade de se reciclar este recurso natural, com a poupança energética que se verifica ao construir-se utilizando a madeira, poupança essa superior a qualquer outro sistema construtivo convencional, como também com a aplicação de políticas de gestão florestal, uma vez que a madeira é uma fonte de matéria-prima inesgotável. Construir mais em madeira está também relacionado com o investimento em pesquisa avançada para o desenvolvimento de novos sistemas de fixação e união entre os vários elementos de madeira, como também para a construção com painéis, com perfis de madeira reconstituída e tratamentos bioquímicos, que por sua vez aumentam a durabilidade das peças. Prevê-se ainda optar por construir mais recorrendo-se à madeira como material primordial, pelo facto de ser possível tornar esta indústria mais rentável, através do aperfeiçoamento de todos os pedaços de madeira, dando origem a novos materiais e a uma indústria mais rentável e sustentável, uma vez que se reduz a quantidade de desperdício decorrente da sua pré-fabricação.

Actualmente no que diz respeito à construção de uma casa em madeira obtém-se uma grande redução em termos de tempo de montagem no local da obra, quando comparado com a construção de uma casa em betão. Nos sistemas construtivos em madeira é possível construir-se uma casa em poucas semanas, uma vez que todos os elementos construtivos já vêm prontos a serem montados de fábrica e porque neste tipo de sistemas construtivos não é necessário esperar que os materiais aplicados sequem. Desta forma, é possível reduzir tanto no tempo de montagem do edifício, como em quantidade de mão-de-obra, o que por sua vez, significa uma redução significativa de custos.

Ao utilizar-se a madeira como elemento construtivo podemos optar por construir segundo três sistemas construtivos, nomeadamente o sistema construtivo de pilar-viga, o sistema construtivo aligeirado e o sistema construtivo maciço (recorrendo a paredes portantes maciças), utilizando-se matéria-prima proveniente tanto de espécies do tipo resinosa, como folhosa em função do sistema. O facto de existir a possibilidade de se construir segundo estes três sistemas construtivos é uma das razões pelas quais a madeira se tornou um dos materiais muito utilizados em todo o mundo.

Apesar de serem sistemas construtivos utilizados desde há muito tempo, verifica-se que estes estão em constante evolução e que continuam a ser opção de construção mesmo nos dias de hoje em vários lugares do mundo, contribuindo também para esta questão o facto de estar associado à madeira, enquanto material de construção, as suas excelentes características físicas e mecânicas.

Verifica-se que a construção em madeira utilizada desde há muitos séculos serviu como modelo para outras técnicas construtivas, inclusivamente *Vitrúvio (80 a.C. – 15 a.C.), descreveu mesmo o surgimento da arquitectura clássica na Grécia como o resultado da replicação das técnicas de construção de pilar e viga, tão características dos edifícios de madeira.* (MARQUES, 2017, p.6)

### **3.1.5. Preocupações ambientais com o sector da construção**

Actualmente o sector da construção produz muitos resíduos, considerado por sua vez uma das áreas responsáveis por uma grande parte da produção de poluição, através do consumo tanto de matérias-primas, bem como de energia, que afecta todo o nosso planeta.

Uma vez que o impacto ambiental que os materiais de construção causam no meio ambiente é uma preocupação relevante, é necessário um cuidado especial no sentido de se verificar previamente tanto a qualidade do material a usar, como o seu preço. Atendendo a esta linha de pensamento, acaba por ser urgente encontrar soluções e novas formas de se pensar no acto de construir, com o objectivo de fazer com que o impacto de construir seja menor. Como tal, é também da responsabilidade dos arquitectos, engenheiros e construtores uma maior ponderação no acto de projectar, na concepção e construção de todo o projecto. São por isso necessárias soluções mais abrangentes e sustentáveis, que por sua vez implicam uma busca constante pelo conhecimento cada vez mais actual e em constante mudança, relativamente ao progresso do fabrico dos materiais utilizados na construção, a construção dos próprios edifícios e as suas principais características, a forma como são produzidos os materiais que o constituem e o seu transporte até ao local da obra. Sendo igualmente importante tentar, na melhor das hipóteses, prever e estudar o comportamento dos materiais e, consequentemente de todo o edifício, ao longo da sua vida útil, no sentido de torná-lo viável e adequado a todas as condições de habitabilidade.

É inevitável que a construção se envolva directamente com o meio ambiente em que se insere, logo pode afirmar-se que existe uma relação de dependência entre os dois ambientes: o artificial, que corresponde ao edifício construído e o meio natural. À interacção que acontece entre estes dois ambientes dá-se o nome de impacto ambiental, impacto este produzido pelo ambiente construído.

No que diz respeito a este impacto ambiental, pode dizer-se que são vários os impactos que os edifícios provocam e que, por sua vez, contribuem para as alterações climáticas, interferindo nos habitats animal e vegetal. Estes são problemas que estão relacionados com os elevados consumos energéticos e com a excessiva produção de resíduos, o que por sua vez leva à destruição de ecossistemas, bem como a problemas relacionados com a degradação da camada de ozono.

Verifica-se que actualmente a emissão de gases com efeito de estufa tem vindo a aumentar, nomeadamente o dióxido de carbono, gás esse produzido pela acção do homem, causando impacto no efeito de estufa para a atmosfera. Por sua vez, com o aumento da concentração de gases que provocam efeito de estufa, dá-se consequentemente um aumento da temperatura média no planeta, como também o aumento do nível médio da água do mar.

No sentido de minimizar o impacto que a construção tem no meio ambiente, actualmente são realizados estudos prévios quando se pretende construir, com o objectivo de recolher informação acerca do edifício, bem como identificar e prever os seus efeitos ambientais. Por outro lado, assiste-se também a uma preocupação em reutilizar os resíduos provenientes da construção e da demolição, sendo esta uma atitude muito importante para o bem-estar do meio ambiente e de todos os que nele habitam.

Construir-se de forma sustentada, com o objectivo de poupar recursos disponíveis, significa construir com elevada durabilidade, ou seja, ao fabricar produtos mais resistentes está a assegurar-se que não tem de se substituir os componentes tão brevemente, traduzindo-se numa poupança de matérias-primas e menos gastos de energia, não só com o transporte dos materiais, mas também com o seu fabrico e transformação.

Tendo em conta as preocupações anteriormente mencionadas, é considerado pertinente levantar a hipótese de considerar a madeira como um material de construção viável para corrigir alguns dos problemas associados à poluição na construção.

Isto porque a madeira é um material com características únicas e muito particulares, nomeadamente o facto de ser versátil e um material renovável, com baixo custo de produção associado quando bem gerido, tonando-se assim num material sustentável que temos facilmente ao nosso dispor.

A madeira, material proveniente de diversos tipos de árvores, é um material com inúmeras vantagens. No que diz respeito à sua utilização associada a questões ambientais, uma vez que é um recurso natural renovável e sob ponto de vista energético, possui um baixo consumo de energia. Por metro quadrado a madeira pressupõe um gasto energético duas vezes menor do que a alvenaria. Outra das vantagens ao nível ambiental é o facto de não ser necessário a utilização de água para o seu processo de fabrico.

A madeira torna-se assim o único material de construção que provém de uma fonte de renovação contínua, no entanto é de salientar que esta fonte renovável não se renova à mesma velocidade com que é requisitada, o que significa que deve ser feita uma boa gestão entre o seu uso e a sua solicitação. Significa portanto que não existe nenhum material aplicado no sector da construção que tenha as mesmas características que a madeira, nomeadamente que exija pouca energia para o seu fabrico.

No que diz respeito à viabilidade da utilização da madeira, verifica-se ainda que graças ao processo de fotossíntese, as árvores têm a capacidade de armazenar CO<sub>2</sub> proveniente do meio ambiente, que em conjunto com a água que vem do solo através das suas raízes, produzem o material orgânico que conhecemos como madeira. Desta forma, através do processo de fotossíntese, a partir de cada molécula de CO<sub>2</sub>, é possível obter-se dois componentes essenciais, nomeadamente um átomo de carbono, em torno do qual os materiais são constituídos e por outro lado, uma molécula de oxigénio, na qual a vida se baseia.

*So, from every molecule of CO<sub>2</sub>, photosynthesis produces two key components essential to life: one atom of carbon, around which all living materials are built, and one molecule of oxygen, on which all animal life relies. (Tackle climate change use wood, p.12)*

Através da tomada de consciência dos problemas ambientais, por parte da população e das entidades governamentais, está a tornar-se possível conhecer melhor este recurso natural, criando-se assim condições para um conhecimento mais profundo das qualidades da madeira e consequentemente, para o aparecimento de novos processos construtivos, associados por sua vez a novos conceitos arquitectónicos.

Actualmente no Sul da Europa promove-se o uso da madeira como um material de excelência, graças às preocupações ambientais cada vez mais urgentes. Acredita-se ser um material com um perfil sustentável e com elevada capacidade estrutural, tornando-se novamente num material competitivo e de grandes potencialidades, ao nível do mercado.

Desta forma nasce uma nova abordagem que vai lentamente dissipando a ideia de que a madeira é uma má opção para a construção, enaltecendo-se de novo as nobres qualidades deste material. O homem passa a compreender melhor e aprende a corrigir o comportamento de alguns sistemas construtivos utilizados no passado, graças ao crescimento da consciência ecológica e com a aplicação da ciência na construção. Assim sendo verifica-se que os actuais sistemas construtivos em madeira são mais compatíveis com o equilíbrio dos ecossistemas, ao contrário de outros sistemas construtivos amplamente implementados, que por sua vez não contribuem de forma tão eficaz para a redução da pegada ecológica.

É graças à experiência adquirida ao longo do tempo com a utilização da madeira, enquanto material construtivo, bem como a intensa investigação, ao longo das últimas décadas, que se tem tornado possível obter mais informação fiável sobre os métodos de construção mais adequados, bem como sobre os detalhes de ligações e ainda ao nível das limitações de dimensionamento de estruturas concebidas em madeira. Com os progressivos avanços tecnológicos obtém-se mais informação acerca das propriedades da madeira e dos seus produtos derivados, bem como sobre os cuidados a ter no dimensionamento estrutural dos seus elementos constituintes.

No sentido de tratar a madeira para a sua utilização em diversas fases construtivas, têm sido também desenvolvidas actualmente diversas pesquisas para que se possa melhorar as características naturais da madeira. Estas são técnicas actuais que são adoptadas no sentido de melhorar as qualidades e minorar os inconvenientes da madeira, nomeadamente os seus defeitos, como nós e fissuras.

Utilizar-se estruturas de madeira ao nível da construção é reconhecer as características e o desempenho físico e mecânico deste material natural, bem como as suas qualidades ao nível das preocupações ambientais. A sua utilização no sector da construção poderá ser sinónimo de uma valorização ao nível dos produtos florestais, o que por sua vez poderá significar um meio alternativo à preservação das florestas. Quer isto dizer que à medida que a comunidade técnica conseguir tirar melhor partido da utilização de estruturas de madeira assistir-se-á ao aumento da sua utilização na construção de edifícios.

## **3.2. A MADEIRA PROVENIENTE DE UM ORGANISMO VIVO**

### **3.2.1. Heterogeneidade**

A madeira é comprovadamente um material heterogéneo, muito complexo ao nível estrutural e morfológico, tornando-se imprescindível o conhecimento das suas propriedades físicas e mecânicas, para a sua correcta aplicação ao nível da construção. É um material que resulta da transformação de um organismo vivo, que por sua vez é influenciado por diversos factores ao longo do seu crescimento, nomeadamente a natureza do solo onde a árvore se desenvolve, a altitude e as condições climáticas.

Sendo a madeira um material que provém das árvores é um organismo vivo, com características e qualidades complexas e heterogéneas e com necessidades relacionadas com o seu suporte, alimentação e protecção. As propriedades desta matéria-prima estão profundamente relacionadas com a sua estrutura celular, o que por sua vez significa que o conhecimento das características biofísicas deste recurso é fundamental para que se possam compreender essas mesmas propriedades.

### **3.2.2. Constituição da árvore**

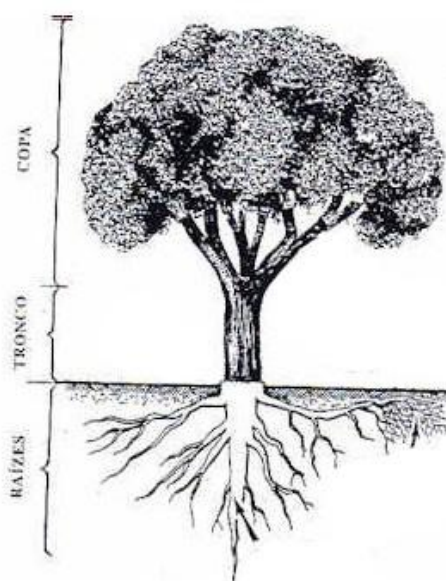
Como se sabe as árvores são seres vivos constituídos por três elementos diferentes, com características e funções bem distintas, que em conjunto funcionam como um todo, nomeadamente a raiz, o tronco e a copa. A raiz tem como função agarrar a árvore ao solo e ao mesmo tempo de garantir a captação de água e de todos os sais minerais essenciais à sua sobrevivência que existem no terreno, para as suas células por osmose. O tronco, por sua vez, acaba por ser o suporte, como que a estrutura deste ser vivo, face à passagem do vento, como também face à acção da gravidade. Por outro lado, o tronco é o elemento condutor, o canal, que conduz a água e os sais minerais, da raiz à copa e onde está presente a maior quantidade de madeira. Por fim, na copa que é constituída por ramos e folhas, é onde se dá um dos fenómenos mais importantes à subsistência deste ser vivo e de uma importância extrema para nós seres humanos, como também para o funcionamento de todo o planeta, o processo de fotossíntese. Este é um processo físico-químico, a nível celular, que se traduz na utilização de dióxido de carbono e de água, para obter glicose através da energia da luz solar, libertando oxigénio para a atmosfera durante todo este processo.



Em função da sua estrutura anatómica as árvores podem ser divididas em dois grandes grupos botânicos: as resinosas ou madeiras brandas e as folhosas ou madeiras duras. As madeiras folhosas podem ser bastante fibrosas, com uma estrutura celular mais complexa, que podem ser consideradas tanto de baixa qualidade, como de alta qualidade. A sua taxa de crescimento é lenta, podendo atingir a maturação só ao fim de 100 anos, possuindo características naturais que beneficiam a sua durabilidade, uma vez que se obtêm madeiras de maior densidade. São exemplos de árvores folhosas o castanho, o carvalho, a nogueira.

Por outro lado, existe o grupo das árvores resinosas, que por sua vez têm um crescimento mais rápido, das quais se pode obter uma madeira de baixa densidade. As coníferas são a espécie mais utilizada na extracção de madeira para a fabricação de elementos estruturais, sendo árvores com folhas perenes, com boa resistência à compressão e ainda melhor à tracção, tornando-se economicamente mais acessíveis, assim como também se encontram com mais frequência disponíveis no mercado. Podemos enumerar o pinho, o cedro e o cipreste como árvores de espécie resinosa.

As principais diferenças entre estas duas espécies de árvores existentes, as resinosas e folhosas são muito variadas. Desde a sua botânica, até ao terreno em que se inserem, o tipo de folhagem que possuem, bem como os seus frutos e flores. No caso da extracção da madeira, para a sua utilização na construção, importa não só a sua aparência, mas principalmente a estrutura atómica do lenho.



**Figura 15 - Constituição de uma árvore**

<http://www.minerva.uevora.pt/publicar/cortica/Osobreiro.htm>

Nos países nórdicos verifica-se que maioritariamente é utilizada madeira resinosa para a execução de estruturas de madeira, devido à sua abundância e ao seu valor económico inferior, quando comparado com a madeira proveniente da espécie de árvores folhosas. Por outro lado, a madeira proveniente de árvores de espécie folhosa é utilizada para fins decorativos e não estruturais, como por exemplo no revestimento de mobiliário.

### 3.2.3. Constituição do tronco

Importa mencionar a constituição do tronco de uma árvore, ainda que de uma forma bastante superficial, isto porque ao percebermos a origem destes elementos constituintes do tronco, conseguiremos perceber também o posterior funcionamento da madeira enquanto material de construção.

Tal como mencionado anteriormente, a madeira é um material que deriva do tecido vegetal, com características relacionadas com a fisiologia da árvore constituída, tal como mencionado anteriormente, pela raiz, o tronco e a copa. Num corte transversal de um tronco consegue ver-se à vista desarmada a parte exterior, que corresponde à casca e uma parte interior, que diz respeito ao lenho.

A casca é o elemento exterior de protecção, com cor escura e características irregulares adquiridas ao longo do tempo, tendo a função de conduzir a seiva das folhas para o lenho existente no tronco. É portanto a camada mais exterior do tronco que funciona como uma capa de espessura irregular, formada por duas secções distintas, nomeadamente a camada epidérmica e o líber. A camada epidérmica é formada por células mortas com o objectivo de proteger o lenho, por outro lado, o líber é formado por células vivas e tem como função a condução de seiva, significando por isso que em função do seu crescimento a casca vai sendo renovada.

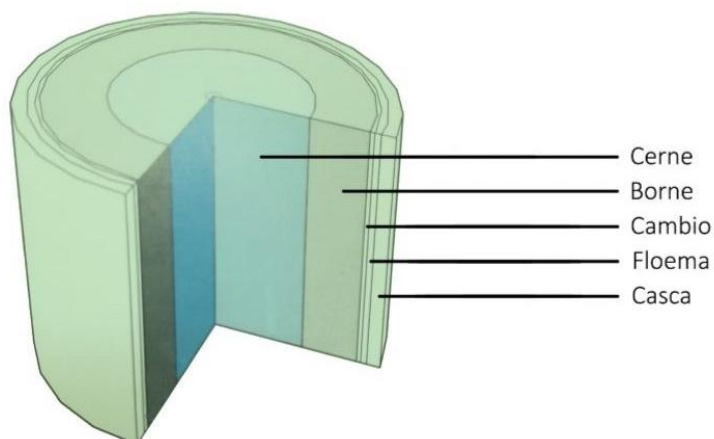


Figura 16 - Constituição do tronco de uma árvore (MARQUES, 2017, p. 29)

No início de cada época de crescimento são produzidas novas camadas de madeira por debaixo do câmbio vascular, verificando-se um crescimento mais rápido destas camadas durante o Verão, ao contrário do Inverno, uma vez que nesta altura as células contêm menos seiva. A estas novas camadas periféricas e concêntricas dá-se o nome de anéis de crescimento, constituídos por duas camadas distintas, o borne e o cerne, que por sua vez revelam o crescimento transversal da árvore, bem como as condições de crescimento da árvore e ainda a sua idade.

O processo de crescimento dos anéis, correspondentes à secção transversal do lenho, não é linear ao longo do ano, isto porque durante o Inverno o crescimento é mais lento, enquanto que na Primavera esse crescimento é mais acelerado. Os anéis reflectem o crescimento da árvore, na medida em que se verifica que nas zonas temperadas ou frias, o período vegetativo é anual, o que significa que o número de anéis corresponde à idade da árvore, formando camadas estreitas e bem diferenciadas. Por outro lado, nas zonas de clima tropical o período vegetativo ocorre em função das estações de chuvas, exibindo-se anéis de rápido crescimento, largos e pouco diferenciados.

Para além de registarem a idade da árvore, estes anéis tornam-se também numa referência para o estudo das propriedades anisotrópicas da madeira, sobre as quais se podem efectuar estudos nas três direcções principais das fibras constituintes da árvore: na direcção tangencial, direcção radial e na direcção axial.

A direcção axial permite o transporte da seiva. Na direcção radial desenvolvem-se os traqueidos radiais, que têm como função o suporte mecânico da árvore, bem como a condução de seiva, como também uma melhor consistência estrutural do material lenhoso. Por fim, a direcção tangencial é a direcção activa onde as células se dividem de forma a promover o crescimento diametral da árvore.

No que diz respeito ao lenho, este é o suporte fundamental da árvore, que se divide em dois, em que a parte mais clara é o borne e a mais escura o cerne. O borne é constituído por células vivas que asseguram a ligação dos sais minerais e a água desde a raiz até às folhas, que corresponde à madeira mais jovem da árvore, adquirindo uma cor mais clara.

O cerne varia consoante as transformações celulares que ocorrem ao nível do borne, sendo constituído por tecido morto, sem função de transporte de substâncias. Tem uma coloração mais escura do que o borne e apresenta maior densidade, resistência e estabilidade perante a humidade e também perante os agentes biológicos de degradação. É a camada interna do lenho, que por sua vez vai diminuindo progressivamente desde a base até ao topo, sendo as alterações do borne que acabam por se transformar no cerne, amplificando-o. A madeira proveniente desta parte do tronco é mais dura e compacta e com uma melhor resistência ao apodrecimento.

Significa portanto que para efeitos de aplicação da madeira para fins construtivos, opta-se por evitar de aproveitar partes da madeira já muito afastadas do centro, uma vez que estas partes não apresentam as melhores características mecânicas.

#### **3.2.4. A madeira enquanto material**

A madeira é um tipo de material constituído por células que têm funções essenciais à vida da árvore. A função dessas células é garantir o transporte de água desde a raiz da árvore até à copa.

Estas células desenvolvem-se no sentido longitudinal e são ocas, traduzindo-se numa fibra continua desde a raiz deste ser vivo até às folhas, em que os seus principais constituintes são o carbono, oxigénio, hidrogénio e o azoto.

A madeira que se consegue extrair das árvores varia substancialmente consoante a espécie botânica de onde provém. Quando o objectivo é utilizá-la em estruturas de edifícios verifica-se uma maior abundância em optar pelo uso de madeiras provenientes de espécies resinosas ou coníferas, por outro lado quando se aplica este material em mobiliário, decoração, ou seja, em situações não estruturais, verifica-se uma maior utilização de madeira proveniente de espécies folhosas, que acaba por ser um tipo de madeira mais dura, com maior valor económico. No entanto a madeira enquanto material pode ser aplicada das mais variadas formas na arquitectura e na construção, nomeadamente em revestimentos de fachadas, pavimentos, paredes, guardas, caixilharias de janela e porta.

Quando comparada com outros materiais construtivos verifica-se que a madeira apresenta maior complexidade, uma vez que é um recurso natural, sobre o qual não existe um controlo prévio da sua qualidade, visto que se desenvolve a partir de um organismo natural. As características dos vários elementos de madeira variam de árvore para árvore, mesmo quando são provenientes da mesma espécie. Esta é uma questão que por sua vez implica um conhecimento técnico e científico adequado e específico da madeira, no sentido de garantir a sua aplicação na construção de forma correcta.

A madeira torna-se assim um material construtivo que tem um bom comportamento tanto a esforços de compressão, de tracção e por consequência também à flexão.

Uma vez que pode ser aplicada em diversos sistemas estruturais, significa que será sujeita a diversos tipos de esforços. Algumas das características que fazem da madeira um bom material, quando aplicado ao nível da construção, são por exemplo a sua boa relação entre a sua resistência mecânica e o seu peso específico, bem como a sua durabilidade e o facto de proporcionar um bom isolamento térmico e acústico. Outras características que podem igualmente ser mencionadas são o facto de ser um material muito versátil e com características estéticas muito agradáveis. Por fim, é também um material que pode ser moldado e que por sua vez é ligado por meio de pregos, parafusos e cavilhas.

As estruturas de madeira garantem ainda características de desempenho ao nível de conforto, enquanto material de isolamento térmico e também no que diz respeito a valores estéticos. Através da capacidade que a madeira manifesta enquanto isolante térmico, verifica-se que esta proporciona um bom conforto de habitabilidade. A sua capacidade de absorver e restituir humidade em função do meio ambiente em que se insere, contribui para uma minimização do consumo de energia necessária no interior do edifício.

A existência dos nós na madeira provoca uma distorção das fibras que se encontram à sua volta, o que significa que existirá uma descontinuidade das mesmas, como também concentração de tensões quando aplicados determinados esforços ou ainda distribuições não uniformes dessas tensões. Significa portanto que de uma forma geral, o tamanho, a forma e a localização dos nós influenciam a qualidade da madeira na sua utilização estrutural.

### 3.2.5. Ciclo natural da madeira e a sua capacidade de armazenar CO<sub>2</sub>

Durante o percurso de vida de uma determinada árvore sabe-se que a mesma tem a capacidade de libertar oxigénio para o meio ambiente através do processo de fotossíntese, como também é sabido que este ser vivo tem a capacidade de armazenar gases poluentes, nomeadamente dióxido de carbono.

Se ao invés de abatermos as árvores estas acabarem por morrer, chegando naturalmente ao fim do seu percurso de vida, estas libertam para a atmosfera toda a quantidade de dióxido de carbono que tinham aprisionado em si.

Quer isto dizer que torna-se muito mais vantajoso, a vários níveis, plantar árvores, mas não deixar que estas morram naturalmente e sim abatê-las, antes mesmo de esse processo acontecer.

Regra geral, uma árvore consegue viver várias décadas. Se antes de chegar ao fim de vida a abatermos para utilizar o seu material ao nível da construção por exemplo, significa que para além desse tempo que já viveu, vai continuar a armazenar CO<sub>2</sub> ao longo de mais décadas, as correspondentes a aproximadamente o tempo de duração de uma construção concebida em madeira, sujeita às devidas condições de manutenção.

Depois de executar o abate deste recurso natural significa que existe a oportunidade de aproveitar a árvore para a extracção de madeira, no sentido de a poder utilizar em várias situações, nomeadamente na construção de edifícios, podendo ser utilizada como elemento construtivo, participante na estrutura de um determinado edifício, ou funcionando apenas como elemento decorativo.

Efeito da fotossíntese derivado do crescimento das árvores

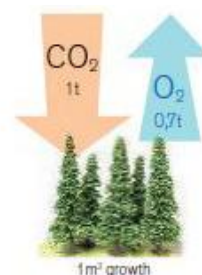


Figura 17 - Processo de fotossíntese (Tackle climate change, p.12) <sup>2</sup>

<sup>3</sup> Tackle Climate Change: Use wood. Disponível em: <https://www.jular.pt/files/pdfs/71/Tackle-climate-change-use-wood.pdf>

### 3.3. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

Com o intuito de se verificar se um determinado material tem reunidas todas as condições para ser aplicado ao nível da arquitectura e construção, torna-se imprescindível constatar se este concentra em si várias propriedades que sejam benéficas para que ocorra essa utilização sem prejudicar o utilizador. Neste capítulo serão analisadas algumas das propriedades físicas mais relevantes, associadas ao uso da madeira na construção.

Apesar dos avanços tecnológicos a que se tem assistido, que por sua vez permitem conhecer melhor todo o tipo de materiais construtivos, actualmente continua a aplicar-se a madeira ao nível da construção graças à sua durabilidade e segurança. Na verdade, as suas propriedades físicas permitem um certo grau de maleabilidade que confere à madeira a capacidade de se adaptar a mudanças nas fundações do próprio edifício, sem causar danos à restante estrutura.

A madeira revela-se assim um material de construção com características dúcteis, o que significa que se torna relativamente simples de ser trabalhável e que tem também a capacidade de resistir a situações extremas, como em caso de sismos.

Falar das propriedades físicas da madeira é mencionar os seus níveis de higroscopicidade, de teor de água ou humidade presente na mesma, como também passa por referir a retracção e dilatação deste recurso natural, e ainda a sua massa volúmica e densidade. É também importante referir as distorções a que está sujeita, bem como a dilatação térmica, condutibilidade térmica e calor específico. A sua dureza, bem como as suas propriedades acústicas e de condutividade eléctrica são também outras das suas propriedades físicas que importam mencionar.

#### 3.3.1. Anisotropia e higroscopicidade

Relativamente à utilização da madeira, enquanto material com potencial para fazer parte da arquitectura e da construção, é importante perceber-se as suas propriedades e que o seu comportamento está directamente relacionado com a ligação que este material estabelece com a água e ao seu carácter anisotrópico.

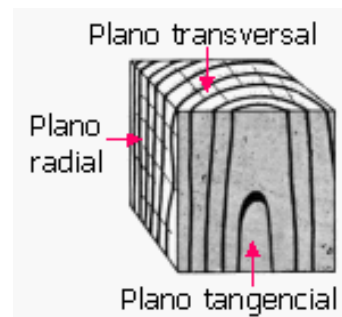
*O teor de umidade de uma madeira é dado pela relação entre o peso da água contida no seu interior e o seu peso no estado completamente seco, expresso em percentagem.*  
(MORESCHI, 2005, p. 29)

À ligação que a madeira estabelece com a água dá-se o nome de higroscopicidade, sendo esta a propriedade física que está na origem das variações comportamentais que se verificam neste material, ou seja, a presença de água afecta nomeadamente as propriedades mecânicas da madeira. Significa portanto que as variações de comportamento que a madeira apresenta na presença de água são determinantes para as propriedades de um determinado elemento de madeira.

Por sua vez a madeira é um tipo de material que permite a absorção, retenção e libertação de humidade. Ou seja, a propriedade de higroscopicidade não se trata apenas da presença de água na madeira, mas também da capacidade que este material tem de perder ou absorver água, consoante as condições ambientais em que se encontra. A presença de água ou humidade na madeira significa, por sua vez, que vão existir variações consideráveis na grande parte das suas propriedades físicas e mecânicas. Vão acontecer retracções ou dilatações e de seguida, consequentemente, verificar-se-ão distorções e deformações neste material. Por outro lado, a presença de água na madeira, que por sua vez provoca variações na sua dimensão, é um factor que está na origem de inúmeras patologias, como tal torna-se muito importante conferir especial atenção ao processo de secagem da madeira, tal como ao seu processo de montagem já no local da obra.

Acontecem grandes deformações nos elementos de madeira, que por sua vez derivam de vários tipos de situações críticas, nomeadamente a aplicação de cargas excessivas, que resultam em deformações elásticas. Por outro lado as amplas variações de temperatura e do teor de humidade podem originar defeitos nas peças de madeira, por causa das constantes dilatações e contracções das mesmas.

No sentido de garantir às peças de madeira a resistência necessária para o seu bom desempenho estrutural, verifica-se que a ventilação é um factor essencial no combate à humidade presente na construção, uma vez que facilita a saída da água quando for inevitável o contacto de elementos pertencentes à construção, com a mesma.



**Figura 18 - Cubo de madeira a ilustrar os planos de corte**  
<http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema18/tema18-4.htm>



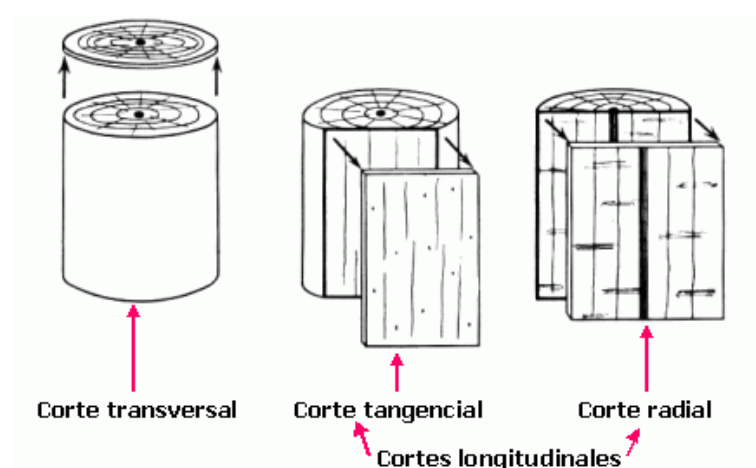
O teor de humidade presente na madeira é também um factor de importância no que diz respeito ao seu processo de transporte e de fabrico, isto porque quando a madeira ainda se encontra no seu estado mais verde inviabiliza que a sua industrialização seja feita a grandes distâncias da sua área de exploração.

Para que não aconteçam deformações e defeitos nos elementos construtivos constituídos de madeira é necessário que se verifique um controlo da humidade presente na madeira, de forma a podermos aplicá-la de forma adequada, evitando-se assim o desenvolvimento de defeitos como empenamentos, arqueamentos, ou até mesmo torções. Estes são defeitos que normalmente se observam em peças de madeira, que são mantidas em uso e que foram fabricadas antes mesmo de este material atingir o seu ponto de equilíbrio higroscópico com as condições ambientais externas, tais como a temperatura e a humidade relativa do ar.

A quantidade de humidade presente nos elementos construtivos de madeira está também relacionada com as propriedades mecânicas da própria madeira, a sua resistência, o seu poder calorífico e a sua sensibilidade ao ataque por parte dos fungos.

Uma vez que a madeira é um material higroscópico, que por sua vez tem a capacidade de absorver a humidade do ar, a verdade é que o teor de humidade presente em si altera consoante as variáveis do ambiente em que se encontra. Por sua vez, a madeira ganha e perde humidade para conseguir atingir o estado de equilíbrio com a atmosfera, o qual se designa por equilíbrio higroscópico. Quando a madeira atinge este equilíbrio significa que a humidade presente está em função das condições climáticas e da sua espécie florestal, ou seja, esta harmonia dá-se quando existe equilíbrio entre a pressão do vapor de água contido no ar do ambiente em que a madeira se encontra e a pressão de vapor existente no interior do lenho. Por sua vez, este equilíbrio higroscópico depende da humidade relativa do ar e da sua temperatura.

A variação de dimensão dos elementos de madeira ocorre maioritariamente devido à sua característica de higroscopicidade, sendo esta considerada uma das suas propriedades físicas mais importantes, uma vez que afecta directamente e poderá limitar substancialmente o seu uso tanto ao nível industrial, como construtivo.



**Figura 19 - Planos de corte na madeira**

<http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema18/tema18-1estr2.htm>

O aumento de volume das peças de madeira ocorre de forma proporcional ao aumento de teor de humidade presente nas mesmas, tal como também de forma proporcional à massa específica da madeira, uma vez que este aumento ou diminuição de volume deve-se na sua maioria à inclusão de moléculas de água nos espaços microscópicos.

Tal como já foi referido anteriormente a presença de humidade na madeira e a sua variação causa alterações nas dimensões dos elementos fabricados, alterações essas que ocorrem em proporções diferentes segundo os três sentidos anatómicos da madeira. Esta é a situação que caracteriza a madeira como sendo um material anisotrópico.

Quanto ao seu carácter anisotrópico, importa perceber primeiramente o termo: anisotropia é a característica mecânica de certos materiais cujas propriedades são diferentes consoantes as direcções. Quer isto dizer que ao nível da forma da estrutura celular da madeira, esta apresenta diferenças muito acentuadas nas suas propriedades entre a direcção longitudinal, transversal e radial. Por sua vez, devido ao fenómeno de anisotropia, ocorre o desenvolvimento de defeitos na madeira durante a fase de secagem, como os nós, torções, empenamentos, abaulamentos, que decorrem de contracções diferenciadas. Consequentemente significa que a mesma peça de madeira apresenta um comportamento muito diferente quando sujeita a diferentes tipos de esforços, nomeadamente ao esforço normal, esforço transversal, momento flector, momento de torção.

O carácter anisotrópico da madeira reflecte-se atendendo ao ambiente em que a construção se insere, na medida em que deve ser dada especial atenção às variações que podem ocorrer nos vários elementos construtivos.

Podem ter lugar diferentes variações ao nível da dimensão dessas peças de madeira, atendendo precisamente a esta característica física própria da madeira. Como tal, ainda durante a fase de projecto, é necessário garantir que o tipo de ligações metálicas entre as várias peças de madeira, bem como o seu desenho são adequados.

Esta acaba por ser uma das características que mais distingue a madeira de outros materiais tradicionais, como o aço e o betão, por manifestar várias diferenças comportamentais, quando sujeita a diferentes tipos de aplicação de forças.

### **3.3.2. Presença da água e humidade na madeira**

A madeira é um material que ganha e perde água, com o objectivo de conseguir atingir um estado de equilíbrio no que diz respeito às condições do meio que a envolve.

Antes de ocorrer o abate de uma árvore, o transporte dos seus alimentos é feito através da água que preenche os vazios intercelulares. Depois do abate da árvore essa água é libertada, diminuindo drasticamente o teor de água presente na madeira, até se obter o ponto de saturação das fibras. Mesmo depois de libertada esta água, a madeira pode variar em função da humidade presente no ambiente, de acordo com o vapor de água existente e a temperatura do ar com que está em contacto. Desta forma a humidade presente na madeira tem como função encontrar um equilíbrio em função da temperatura e da humidade presente no ambiente em que se encontra.

Considera-se que a madeira está saturada quando todos os seus espaços vazios estão totalmente preenchidos por água. Para efeitos de utilização da madeira como elemento estrutural, a perda de água até ao ponto de saturação das fibras não causa problemas, sendo precisamente a partir deste limite que a madeira dá início a um processo de retracção.

A humidade é um dos factores que tem mais influência na resistência mecânica da madeira, porque afecta com muita facilidade este material, principalmente quando varia entre valores abaixo do ponto de saturação das fibras. Significa por isso que estes processos de dilatação ou de retracção poderão provocar fenómenos de empenos ou fissuras, que por sua vez influenciam directamente a resistência mecânica e física da madeira.

Por outro lado as árvores desenvolvem as características anatómicas do seu tronco em função das cargas a que está sujeita durante o seu período de crescimento, nomeadamente a acção do vento, que provoca esforço de flexão e a acção gravítica, que por sua vez provoca esforço de compressão. Assim sendo as suas fibras, a sua estrutura anatómica desenvolve-se com o objectivo de ter a capacidade resistir a estas cargas aplicadas.

Neste sentido é necessária uma especial atenção por parte dos projectistas relativamente às variações mecânicas e físicas da madeira, devido às diferentes condições ambientais a que este material poderá estar sujeito, nomeadamente aos níveis de humidade, que por sua vez causam um efeito directo na resistência e rigidez da madeira, bem como a retracção e dilatação que se poderá verificar neste material. Uma correcta e prévia compreensão das características da madeira poderá ser o suficiente para prevenir possíveis erros de dimensionamento e de construção ao nível das estruturas de madeira.

A madeira para ser utilizada com segurança requer um certo grau de humidade, compatível com o fim a que se destina. O teor de humidade da madeira, quando em equilíbrio higroscópico, constitui um factor estabilizador que contraria os efeitos da retractibilidade e garante a manutenção de um determinado nível de resistência.

Por sua vez, quando o teor de humidade é baixo, as propriedades resistentes não são afectadas, mas à medida que o teor de humidade sobe, a resistência mecânica das peças de madeira reduz até atingir o seu mínimo, que por sua vez se verifica quando se alcança o Ponto de Saturação das Fibras (PSF).

A madeira torna-se assim num material que reage de forma adversa a uma constante variação nos níveis de humidade, durante o seu tempo de vida útil, graças à sua natureza higroscópica. Assim sendo, verifica-se que a madeira é mais estável quando se encontra na presença de níveis de humidade constantes, como quando por exemplo se encontra submersa, ou seja, perante estas condições constantes verifica-se que a madeira tem um período de vida útil mais extenso.

### 3.3.3. Retracção e dilatação

É importante perceber estes fenómenos no sentido de conhecer o comportamento da madeira ao nível do seu desempenho estrutural, nas suas diversas aplicações. A retracção é um fenómeno que se dá quando a madeira diminui de volume. Esta situação acontece porque a madeira perde água para o meio ambiente. Este é um fenómeno que não acontece de forma homogénea ao longo de toda a peça, tornando-se mais acentuado quando ocorre de fora para dentro. Durante todo este processo é possível que apareçam fissuras e deformações que prejudicam o bom funcionamento da estrutura de madeira, bem como a sua durabilidade.

Por sua vez, as fissuras são defeitos que surgem nas peças de madeira devido à acentuada perda de água na superfície da madeira, quando comparada com o seu interior. Nos locais das peças de madeira onde existem fissuras, podem formar-se tensões, que por sua vez podem provocar empenamentos.

Por outro lado a dilatação é o processo contrário, no sentido em que a madeira aumenta de dimensões ao absorver água que se encontra no meio ambiente, que por sua vez vai infiltrar-se nas paredes celulares da madeira, causando um aumento de volume da própria peça.

Enquanto que a retracção é a redução das dimensões de uma peça de madeira, fenómeno que tem como principal causa a libertação de água, por outro lado quando a madeira se encontra exposta a condições de alta humidade a madeira dilata por absorção de água, provocando consequentemente um aumento dimensional das peças. É de salientar que estes dois fenómenos, de retracção ou dilatação não ocorrem da mesma forma ao longo das três direcções, tangencial, radial e longitudinal, graças ao carácter anisotrópico da madeira.

### 3.3.4. Condutibilidade térmica, eléctrica e calor específico

*A condutibilidade térmica é a medida da taxa de fluxo de calor através de materiais submetidos a um gradiente de temperatura. (MORESCHI, 2005, p.75)...O coeficiente de condutibilidade térmica (ou coeficiente ou condutividade calorífica) indica a quantidade de calor conduzido através de um cubo de 1m<sup>3</sup> (ob. cit. p.76)*

A condutibilidade térmica é, por sua vez uma das propriedades da madeira considerada importante, no que diz respeito ao isolamento da temperatura em edifícios. A condutibilidade térmica de um determinado material resulta da transferência de energia de uns átomos para outros, logo a capacidade de condução do calor é uma característica que depende principalmente da composição química da macroestrutura e da textura do material.

No caso específico da madeira, uma vez que esta possui uma estrutura porosa, significa que o seu coeficiente de condutibilidade térmico é relativamente baixo, principalmente quando comparado com outros materiais, o que faz com que a madeira tenha uma boa capacidade de isolamento térmico. Este bom desempenho deve-se essencialmente à porção de ar existente no seu interior e à própria condutividade térmica característica do material lenhoso. O fluxo de calor presente na madeira depende mais uma vez das suas direcções anatómicas, como também das suas irregularidades estruturais, como por exemplo fendas, nós.

Em países onde faz muito frio e com um vasto coberto vegetal, os edifícios são construídos na sua totalidade em madeira, pelo fácil acesso a este recurso, como também pelo facto de a madeira ter um bom desempenho térmico. Por outro lado, em países onde a presença da madeira se torna mais escassa, geralmente aplica-se este material apenas na cobertura e pavimentos da construção.

A baixa condutividade térmica da madeira permite que esta se torne num bom isolamento térmico. Se se verificar o que acontece ao nível das construções tradicionais, como por exemplo de pedra ou alvenaria, pode constatar-se que o calor é absorvido primeiro pelas paredes com elevada inércia térmica, para depois ser repartido por toda a construção, ao contrário do que acontece numa construção em madeira, em que essa absorção é muito mais lenta, significando que este tipo de construção tem a capacidade de manter a temperatura no interior dos espaços. Significa portanto, que em alturas com temperaturas baixas, o interior da casa mantém-se aquecido e por outro lado, em épocas de temperaturas elevadas, verifica-se no interior da habitação uma temperatura agradável.

Assim sendo, graças à sua inércia térmica a madeira consegue, de forma natural, fazer um controlo adequado da temperatura e humidade no interior de uma habitação.

Esta é a razão pela qual as casas de madeira são uma boa opção, uma vez que não estão presentes pontes térmicas, ao contrário do que o que acontece com as construções feitas, por exemplo com alvenaria.

Uma vez que a madeira é considerada um bom isolante térmico, isto faz com que haja uma redução no gasto de climatização necessário ao conforto do interior da habitação. Com a aplicação de madeira na construção é possível reduzir em 30% a energia gasta quando comparada com uma habitação concebida em alvenaria.

No campo da aplicação da madeira na montagem de edifícios, esta é considerada um bom isolante eléctrico, porque possui uma resistência eléctrica relativamente alta. Por sua vez, a condutibilidade eléctrica de um determinado material é determinada pela corrente eléctrica que passa pelo mesmo. Esta característica por sua vez varia muito consoante o teor de humidade, neste caso presente na madeira, especialmente quando os seus valores estão abaixo do ponto de saturação das fibras. Significa portanto que à medida que o teor de humidade aumenta, a condutividade eléctrica cresce, logo a resistência da madeira à corrente eléctrica desce muito.

No que diz respeito ao calor específico da madeira este é um parâmetro que depende da temperatura e do teor de humidade do próprio material, no entanto esta é uma propriedade que por sua vez não depende da sua densidade ou espécie florestal.

*O calor específico de um material é dado pela relação entre a capacidade de aquecimento deste material e a capacidade de aquecimento da água. A capacidade de aquecimento de um material representa a quantidade de energia térmica, necessária para causar a troca de uma humidade de temperatura em uma unidade de massa deste material.*  
(MORESCHI, 2005, p.82)

A madeira apresenta níveis de calor específico relativamente altos, principalmente quando comparada com outros materiais, ou seja, ao aplicarmos uma determinada quantidade de calor à madeira, ela terá muito menos tendência de sobreaquecer, ao contrário do que o que acontece com outros materiais possuidores de níveis menores de calor específico, tratando-se de materiais como o betão, o aço, o tijolo.

A madeira seca apresenta níveis de calor específico que a tornam muito adequada para a sua utilização em vários tipos de situações práticas, no entanto quando a madeira contém água no seu interior o seu calor específico consequentemente aumenta, uma vez que o calor específico associado à água é mais alto.

### **3.3.5. Massa térmica e o desempenho da madeira enquanto isolamento térmico**

A massa térmica é um parâmetro que está relacionado com a capacidade de armazenamento de calor de um material e é um factor chave nas interações de transferência de calor dinâmico num determinado edifício.

Por sua vez é definida por várias características, como a densidade do material, bem como a sua capacidade de resistência térmica. Utilizando-o correctamente, permite reduzir as flutuações internas de temperatura, levando a um melhor conforto térmico e reduzindo o consumo de energia.

Demasiada massa térmica requer muito tempo para aquecer, ou seja as paredes que são muito finas não são eficazes para armazenar calor suficiente e pode ocorrer sobreaquecimento no interior do edifício. Assumindo que ambos tenham acesso solar igual, o calor da parede interna transfere o calor de ambas as superfícies, enquanto a parede externa frequentemente perde metade para o lado de fora se não estiver bem isolada.

Actualmente verifica-se que os governos europeus estão a implementar cada vez mais legislação no sentido de melhorar a eficiência térmica dos materiais aplicados na construção, como também com o objectivo de reduzir o consumo de energia ao nível da utilização dos edifícios.

Relativamente ao consumo de energia que se pratica no interior de um edifício verifica-se que essa é uma questão que está também directamente relacionada com o desempenho geral do revestimento do edificado. Assim sendo, no que diz respeito à eficiência térmica natural da madeira, precisamente por ser um material fraco relativamente à sua condução térmica, significa que os sistemas construtivos concebidos com este material podem ser mais rentáveis na construção de edifícios energeticamente eficientes, do que outro tipo de materiais, nomeadamente o cimento, o tijolo, o betão.



Uma vez que a madeira apresenta uma baixa variação ao nível do seu comportamento térmico, significa que as perdas ou ganhos de calor são minimizados, fazendo com que se sinta maior conforto térmico no interior da construção, ou seja, não serão necessários aparelhos eléctricos para regular a temperatura, ou os mesmos tornar-se-ão obsoletos, apenas opcionais, assistindo-se assim a menos gastos e consumos energéticos.

Significa portanto, que através da aplicação da madeira na construção são criadas condições para que as perdas e ganhos de calor indesejadas sejam minimizadas, permitindo que a temperatura interior do edifício seja sempre adequada ao conforto pretendido.

*Using wood also helps to save energy over the life of a building, as its cellular structure provides outstanding thermal insulation: 15 times better than concrete, 400 times better than steel and 1770 times better than aluminium. (Tackle climate change use wood, p.12)*

Por outro lado, elementos construtivos, como por exemplo janelas com vidros triplos são mais fáceis de ser produzidas em madeira, e no caso dos pavimentos de madeira, estes também proporcionam melhor isolamento térmico do que lajes de betão. Na realidade uma tábuia de madeira com 2,5cm de espessura confere melhor resistência térmica do que uma parede de tijolo, com uma espessura proporcional.

Uma parede exterior construída com madeira pode ter apenas metade da espessura de uma outra parede semelhante feita de tijolo ou de betão, que ainda assim terá a capacidade de fornecer o dobro do valor de isolamento térmico, evitando ao mesmo tempo pontes térmicas quando utilizados em simultâneo com outros materiais de construção para isolamento.

*A 2,5cm timber board has better thermal resistance than an 11,4cm brick Wall. (Tackle climate change use wood, p.12)*

Verifica-se ainda que a madeira torna-se um material com potencial para ser aplicada em climas frios, muitas vezes com temperaturas exteriores abaixo de zero. Ao adoptar um design cuidado e com a adição de materiais isolantes é possível reduzir-se os custos de aquecimento no interior da habitação, através do baixo consumo de energia, proporcionando-se condições de vida confortáveis.

Ainda assim, os edifícios construídos com estruturas de madeira também se tornam bastante eficientes em climas quentes, tirando partido da capacidade natural da madeira para dissipar energia durante a noite e de acumular calor durante o dia.

Em suma, actualmente assiste-se cada vez mais ao facto de a madeira estar a tornar-se numa solução cada vez mais competitiva no que diz respeito aos requisitos térmicos, estabelecidos nos regulamentos europeus de construção.

### **3.3.6. Coeficiente de dilatação térmica**

A retracção/dilatação da madeira é a propriedade relacionada com alterações das suas dimensões quando o seu teor de água se modifica, sendo esta uma característica que constitui um defeito relevante da madeira, uma vez que incha quando absorve humidade e contrai quando a perde. Verifica-se maiores variações de dimensões dos elementos de madeira face à existência de humidade no seu interior, do que quando sujeita a variações de temperatura.

Por sua vez, o coeficiente de dilatação ou expansão térmica resulta na alteração de dimensões causadas pelo aumento ou diminuição da temperatura. No caso da madeira o valor do seu coeficiente de dilatação é positivo em todas as suas direcções anatómicas, o que significa que este material dilata quando a temperatura aumenta, ou contrai quando a temperatura baixa.

No processo de fabricação de elementos de madeira, com o aquecimento da mesma durante esta fase, verifica-se que as alterações dimensionais causadas pela variação da temperatura são quase nulas, porque ao mesmo tempo acontece também alteração do seu teor de humidade.

Significa portanto que a utilização da madeira na construção traz vantagens na protecção dos edifícios contra incêndios, na medida em que está comprovado que as peças estruturais provenientes deste recurso natural expandem menos do que outros materiais, o que faz com que o risco de desmoronamento diminua.

### **3.3.7. Densidade e dureza**

A dureza é uma característica relacionada com a resistência do material, no que diz respeito ao seu desgaste. Dependendo da espécie de onde provem, a madeira pode apresentar diversas densidades, ou seja, pode ser mais ou menos dura, sendo normalmente designadas em termos de dureza, como brandas, medianamente duras e duras. Importa estudar este parâmetro porque esta característica está directamente relacionada com a trabalhabilidade da madeira e também porque permite realizar uma selecção adequada da espécie de madeira em função do fim a que se destina.

Esta é na realidade uma característica que influencia directamente a capacidade de resistência dos próprios elementos de madeira, bem como a resistência da fixação entre os elementos de madeira e os elementos metálicos.

Deve atender-se ainda ao facto de as propriedades da madeira, quando utilizadas ao nível da construção aumentarem de qualidade no momento em que a qualidade da madeira também é superior, neste sentido ao aumentar a densidade da madeira, a massa da sua estrutura anatómica também aumenta, fazendo com que a estrutura concebida fique menos vulnerável às cargas aplicadas, aumentando consequentemente a sua capacidade de resistência e estabilidade estrutural.

### **3.3.8. Propriedades acústicas**

A madeira por si só é um material com qualidades de isolamento acústico, uma vez que as suas propriedades físicas permitem a absorção de ondas sonoras. É aplicada em instrumentos musicais, como também no revestimento de paredes e soalhos, por exemplo em anfiteatros e salas de espectáculos. No entanto o seu desempenho acústico é uma característica que pode ser melhorada quando existe a possibilidade de incorporar materiais que são absorventes de som. Quando, no caso das paredes, estas são compostas por várias camadas, contendo ar entre elas, verifica-se uma diminuição considerável nas oscilações das suas partes sólidas constituintes.

Uma redução acústica satisfatória consegue-se também através da aplicação de materiais absorventes sonoros à própria construção, que por sua vez devem ser materiais moles e porosos.

Na fase de montagem dos elementos construtivos, esta camada de isolamento sonoro não deve ser interrompida, no sentido de evitar a existência de pontes sonoras.

A propagação do som por parte de materiais sólidos e no caso específico da madeira dá-se pelo acto de pisar os pavimentos, pela queda de objectos, vibrações, que por sua vez são situações que se propagam por intermédio do material que constitui a própria construção.

Desta forma verifica-se que a partir do bom desempenho acústico da madeira é possível que os elementos construtivos como as paredes e pavimentos absorvam os ruídos e criem um ambiente tranquilo nos espaços interiores.

### 3.4. PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA

Depois de abordadas as propriedades físicas da madeira importa de seguida mencionar o potencial mecânico deste material, verificando-se que de uma forma geral a madeira apresenta boas características mecânicas, no sentido de se poder aplicar este material em diferentes situações, nomeadamente enquanto elemento construtivo.

As propriedades mecânicas da madeira variam muito pelo facto de este ser um material heterogéneo, variando também consoante o grau de humidade presente na mesma, como também devido à existência de defeitos. Logo as suas características mecânicas estão directamente relacionadas com a variabilidade deste material.

As condições físicas e ambientais de cada região, de onde esta matéria-prima será proveniente, tais como a luminosidade, a água disponível para o desenvolvimento de cada espécie arbórea, são factores que por sua vez contribuem para a variação do tipo de madeira que iremos obter no final do seu processo de produção.

Para se proceder à análise da resistência mecânica da madeira é primeiramente necessário conhecer a sua estrutura atómica, isto porque a madeira é um material orgânico, não controlado pelo homem, com características higroscópicas, anisotrópicas e heterogénea. São também os diferentes constituintes do tecido celular da madeira que definem as suas características mecânicas, por sua vez com diferentes contributos para a sua resistência. Significa portanto que avaliar a resistência da madeira é um processo relativamente complexo, uma vez que não se consegue controlar a qualidade do crescimento da árvore. No sentido de ultrapassar em certa medida esta dificuldade, existe uma classificação que divide as madeiras em classes de resistência.

Tal como já foi mencionado anteriormente, a heterogeneidade deste recurso natural não deixa de ser um factor que o influencia bastante enquanto material construtivo, o que por sua vez significa que consoante o tipo de madeira obtemos diferentes comportamentos mecânicos.

Por fim enumeramos também o grau de processamento tecnológico a que este material se encontra sujeito, o que por sua vez significa que quanto maior o grau de processamento obtido em fábrica, menor será o seu grau de variabilidade, ou seja, desta forma será mais fácil de prever o comportamento mecânico das peças pré-fabricadas. Como resultado deste processo de fabrico verifica-se que *“Existe actualmente uma gama enorme de produtos derivados da madeira que resultam precisamente da desmontagem e posterior reconstituição, quer por colagem ou por prensagem.* (MARQUES, 2017, p.34)

Desta forma torna-se importante mencionar os factores que condicionam as suas propriedades, tanto físicas como mecânicas, nomeadamente a espécie botânica de onde provem a madeira, que está relacionada com a constituição da estrutura atómica da árvore, bem como a localização do tronco de onde é extraída a própria madeira. Por outro lado torna-se também importante a verificação de defeitos como nós e fendas, a temperatura do meio ambiente onde a madeira está inserida e importa também referir o efeito que a humidade causa neste material de construção, que por sua vez aumenta a susceptibilidade de ataques de fungos, principalmente quando se encontra abaixo do ponto de saturação das fibras. O que significa que quanto menos água presente na madeira maior a resistência da peça.

#### **3.4.1. Resistência à tracção, compressão e a forças tangenciais**

Relativamente às principais características mecânicas podemos enumerar o facto de a madeira possuir uma boa resistência à flexão, como também uma boa capacidade de resistência à tracção e à compressão, no entanto estas condições verificam-se quando as forças são aplicadas paralelas às suas fibras, ou seja, a madeira possui uma menor resistência à tracção e à compressão, no caso em que as forças são aplicadas perpendicularmente às fibras. Por outro lado a madeira é um material que também revela uma boa capacidade de resistência ao corte, ou seja, às tensões tangenciais.

Por sua vez as estruturas de madeira são estruturas que resistem melhor a tensões elevadas, mas de curta duração, ou seja, quanto mais longo for o período de actuação da carga na estrutura, maior é a redução da sua resistência mecânica. Esta é também uma situação que está directamente relacionada com a contínua expulsão de água durante o carregamento, que consequente causa deformações nos elementos construtivos.

As estruturas de madeira apresentam também um bom comportamento à flexão, tornando-se estruturas ainda mais eficazes quando se consegue diminuir significativamente o seu peso próprio, tornando-se assim mais leves. Por outro lado, a facilidade de corrigir defeitos presentes na madeira, graças a novos processos tecnológicos durante a sua montagem é uma das vantagens de construir recorrendo-se a este material e de potenciar a sua resistência mecânica.

Torna-se assim importante entender todos estes aspectos relacionados com a madeira, desde o seu crescimento e constituição até às suas características físicas e mecânicas, no sentido de potenciar a sua utilização durante a concepção do projecto de arquitectura, na fase em que é ainda uma ideia, como também durante a montagem deste material já em obra, tendo em conta as condições de montagem, no sentido de tornar todo este processo mais rápido e eficaz durante a construção do edifício, como também durante todo o seu tempo de vida.

#### **3.4.1.1. Forças de compressão**

No que diz respeito à capacidade mecânica da madeira de resistir a tensões de compressão, verifica-se que o seu comportamento face a este tipo de esforço é quase linear até ao valor máximo de resistência, ocorrendo a ruptura por fenómenos de encurvadura de algumas fibras que originam um plano de corte. A compressão paralela às fibras provoca a separação das fibras longitudinais, diminuindo a coesão do elemento estrutural e consequentemente a sua resistência global. Por sua vez, a resistência dos elementos estruturais de madeira à compressão axial está intrinsecamente ligada ao teor de água presente na madeira, na medida em que a madeira fica com menos resistência mecânica quando ultrapassa o seu ponto de saturação de 30% de humidade. Outros factores que também influenciam a resistência da madeira a esforços de compressão são a existência de possíveis defeitos, que por sua vez diminuem a capacidade de resistência da madeira e por outro lado, a massa volúmica das suas peças, ou seja, quanto maior a massa volúmica maior será a resistência do elemento estrutural.

Por outro lado a resistência à compressão no sentido perpendicular às fibras depende da distribuição da carga no elemento, sendo importante a quantidade de massa volúmica que o elemento estrutural apresenta. Quando toda a peça é comprimida significa que as fibras são apertadas entre si, como se funcionassem como um conjunto de tubos.

Verifica-se por isso que a resistência à compressão no sentido perpendicular às fibras é bastante inferior a igual solicitação no sentido paralelo.

#### **3.4.1.2. Forças de tracção**

No que diz respeito à resistência à tracção na direcção perpendicular às fibras esta é muito reduzida, 25 a 50 vezes menor que na direcção paralela. A baixa resistência dos elementos de madeira nesta situação está relacionada com o número reduzido de fibras que a madeira possui na direcção perpendicular ao eixo das árvores e também pela falta de travamento transversal das fibras longitudinais, o que significa que as tracções perpendiculares às fibras devem ser evitadas ao máximo. Assim sendo, quanto maior é o volume da peça submetida à tracção, menor é a tensão resistente à tracção, porque há uma maior probabilidade de existir defeitos que conduzem à falha local, o que pode levar consequentemente à ruptura da peça.

#### **3.4.1.3. Resistência ao vento**

Nos Estados Unidos da América, e não só, todos os anos se assiste à destruição de inúmeros edifícios construídos em madeira, na altura dos tornados. Verifica-se portanto que a capacidade deste tipo de estruturas de resistir à direcção horizontal do vento é um dos factores menos vantajosos, precisamente porque na maioria das vezes torna-se numa estrutura com um peso próprio muito menor, do que por exemplo o que acontece na construção em betão armado, ou metálica. Na ocorrência de ventos fortes pode inclusivamente ocorrer o efeito de levantamento, o que significa que a acção do vento é outro dos fenómenos naturais ao qual deve dar-se importância durante a concepção de uma estrutura.

A ocorrência de ventos fortes provoca nos edifícios o aparecimento de forças pontuais, com diferentes pontos de aplicação e ainda diferentes intensidades, ou seja, são forças difíceis de quantificar antecipadamente e inconstantes. Como tal cada estrutura, dependendo da sua rigidez, da sua resistência e ainda da sua forma, irá reagir de maneiras diferentes. Desta forma, qualquer tipo de estrutura deverá ser projectada antecipadamente com a capacidade de resposta adequada e com a segurança necessária para resistir às cargas laterais originadas pela força do vento. Nesse sentido, a estabilidade da estrutura global de um determinado edifício deve ser também garantida pela fixação de uma outra estrutura simples de sistema de contraventamento.



Desta forma, as cargas laterais provocadas maioritariamente pela acção do vento serão resistidas também precisamente por esses sistemas de contraventamento lateral.

Em boa verdade, a aplicação das forças que provêm do vento pode acontecer tanto ao nível das fachadas do edificado, como ao longo do comprimento ou da largura do edifício, como ainda podem manifestar-se através da elevação vertical do mesmo, tal como mencionado anteriormente.

Nas situações em que se assiste a rajadas de vento fortes, as cargas laterais provenientes desse fenómeno são transportadas até às fundações graças às várias ligações entre os vários elementos estruturais, como também pela garantia de contraventamento lateral, tal como mencionado anteriormente, que por sua vez impedem que a estrutura colapse, mesmo que algumas dessas ligações danifiquem.

#### **3.4.1.4. Resistência aos sismos**

As forças aplicadas na construção que provêm da actividade sísmica são maiores quanto mais pesada for a construção, uma vez que as forças cíclicas provenientes dos sismos são proporcionais ao peso da construção, logo para estruturas mais pesadas as forças que aparecem na construção são mais extremas.

*Wood-frame buildings typically weigh less than those made of concrete and steel, reducing inertial seismic forces, which are proportional to weight and, therefore, are more extreme for heavier structures. (Structural wood building systems, Think Wood, p.10)*

A capacidade de uma determinada estrutura ceder e deslocar-se sob tensões cíclicas abruptas provenientes de sismos é uma qualidade também atribuída na sua maioria às estruturas de madeira. Neste caso específico, para além das propriedades mecânicas típicas deste recurso natural que são favoráveis para resistir a sismos, são também as várias ligações entre os diversos elementos construtivos que permitem responder às forças que aparecem em caso de sismos, sem que ocorra uma falha estrutural.

Na realidade, é a quantidade de ligações entre os vários elementos que constituem a estrutura que oferecem vários caminhos para transportar as forças provenientes dos sismos até às fundações, reduzindo significativamente a probabilidade de a estrutura entrar em colapso, mesmo que algumas dessas ligações fiquem danificadas.

Ainda no que diz respeito ao transporte de forças aplicadas nas estruturas de madeira até às suas fundações, verifica-se que as tensões provocadas pelo seu transporte até às fundações acumulam-se nas uniões dos vários elementos construtivos. Como tal, o desenho das ligações é um factor de extrema importância para aumentar a capacidade e o bom desempenho comportamental das estruturas concebidas em madeira.

#### **3.4.2. Deformações plásticas e elásticas**

Outra das características que se torna também importante descrever é a elasticidade da madeira, característica esta associada a corpos sólidos. Por sua vez elasticidade é a capacidade que um determinado material tem de sofrer a aplicação de uma determinada carga, apresentar uma determinada deformação, resultante desse mesmo carregamento e regressar à sua forma original.

O parâmetro que define esta propriedade é o módulo de elasticidade, que por sua vez permite calcular qual a deformação esperada em determinadas situações de carregamento, podendo ser utilizado como ferramenta para prever o comportamento do material construtivo. Significa que um determinado material é qualificado para fins estruturais quando os valores relativos a este parâmetro são elevados, ou seja, significa que a sua resistência é alta e que o material revela uma baixa capacidade de deformação.

No campo das deformações elásticas a deformação é directamente proporcional ao carregamento, enquanto que no campo das deformações plásticas esta condição já não se verifica. Com o aumento da carga atinge-se o limite de proporcionalidade, após o qual a deformação continua a aumentar, no entanto aumenta num regime não proporcional ao carregamento. Até ser atingido o limite elástico as deformações são recuperáveis após a remoção da carga aplicada.

Por outro lado, se as cargas aplicadas na estrutura de madeira aumentarem continuamente entra-se no campo das deformações plásticas, em que no ponto de carregamento máximo o material entra rapidamente em cedência e consequentemente em ruptura. No caso específico da madeira, esta tem um comportamento elástico dentro de determinados limites, ou seja, assume a sua forma original quando as cargas aplicadas são removidas. Este comportamento verifica-se nos valores de limite elástico, o que por sua vez significa que os carregamentos que não atingem o limite elástico provocam deformações que são recuperáveis. Significa portanto, que no caso em que este limite é ultrapassado começa a verificar-se deformações irreversíveis na estrutura interna do material. Ou seja com a aplicação de uma determinada quantidade de carga a madeira irá sofrer deformações elásticas, por sua vez reversíveis, por outro lado a aplicação de cargas elevadas irá alterar a sua forma, no entanto essa alteração poderá ser reversível se ainda estiver no limite elástico.

#### **3.4.3. Fadiga**

A resistência à fadiga é medida através da submissão durante um certo tempo a cargas alternadas tracção/compressão, ou vibrações. A resistência de cargas de longa duração provoca deformações ou perda de resistência de um elemento estrutural, quando sujeito a cargas prolongadas superiores ao limite de elasticidade do material. Este é um fenómeno que provoca alterações na estrutura do material lenhoso, nomeadamente o deslizamento de células e tecidos, tendo como consequência a perda de elasticidade. Quando sujeitas a cargas prolongadas as peças de madeira sofrem deformações progressivas ao longo do tempo, que podem causar rupturas. Por sua vez, alguns materiais quando solicitados prolongadamente a cargas superiores às do respectivo limite de elasticidade, podem atingir a chamada fase plástica tal como mencionado anteriormente, tornando-se num material frágil.

#### **3.4.4. Encurvadura**

A encurvadura acaba por ser outra característica que importa mencionar relativamente à resistência e dimensionamento de peças de madeira quando utilizadas em estruturas. Se considerarmos uma determinada peça longa, como por exemplo um pilar, este poderá entrar em ruptura devido a dois tipos de fenómenos, nomeadamente esgotamento da sua capacidade de resistência ou ainda por instabilização do elemento. Neste sentido quando são realizados estudos com o objectivo de se verificar problemas de perda de instabilidade, como o caso da encurvadura, em que a verificação do equilíbrio é feita na configuração da deformação da estrutura. Nestas circunstâncias a estrutura sofre deslocamentos perpendiculares ao seu eixo, o que faz com que a peça tenha esforços axiais e momentos flectores ao longo do seu eixo.

Pode verificar-se que a encurvadura traduz-se numa forma de instabilidade onde ocorrem deformações transversais numa determinada barra comprida. Este é um fenómeno que poderá resultar da aplicação de uma carga de compressão excêntrica, de desvios de linearidade de uma determinada peça, ou ainda de outro tipo de defeitos consequentes do processo de fabrico do elemento construtivo.

Da encurvadura resultam ainda momentos flectores que dão origem a deformações que podem agravar significativamente os efeitos das imperfeições iniciais. Geralmente estes momentos flectores adicionais resultam em efeitos secundários, nomeadamente efeitos de 2ª ordem. As deformações que ocorrem destes efeitos de 2ª ordem acabam por provocar o colapso da barra por instabilização, resultantes de forças de compressão aplicadas, às quais se atribui o nome de cargas críticas.

Neste sentido a análise deste parâmetro na concepção de estruturas de madeira permite o correcto dimensionamento destes elementos estruturais com o objectivo de terem a capacidade de resistir ou até mesmo de evitar o aparecimento deste tipo de fenómenos.

#### **3.4.5. Fendimento**

Fendimento é a característica de determinado material de resistir à aplicação de forças que actuam como cunha, como por exemplo pregagens que provocam na peça uma separação segundo certos planos.

Desta forma esta é uma característica importante a considerar, uma vez que a madeira é um material sujeito constantemente a este tipo de fenómenos, na medida em que muitas das vezes diferentes elementos de madeira são ligados entre si através de materiais metálicos, que por sua vez provocam este tipo de situações. Como tal, verifica-se que no caso específico da madeira a sua resistência ao fendimento axial é baixa, o que significa que a madeira é pregada ou aparafusada tem tendência a fender. São as madeiras de densidade baixa que apresentam menor resistência ao fendimento, enquanto que as madeiras mais densas têm maior resistência a este fenómeno.

Em suma, o fendimento acaba por se tornar numa característica típica dos materiais fibrosos, como é o caso da madeira, sendo por sua vez uma propriedade que está relacionada com a coesão ou a resistência da madeira ao deslocamento entre as suas fibras, que acontece quando a madeira está sujeita a esforços de tracção transversal em apenas uma das superfícies. Significa portanto que o fendimento é uma solicitação que sempre que possível, deve ser evitada ou ponderada nas estruturas de madeira.

#### **3.4.6. Resistência ao fogo**

A madeira comporta-se de forma previsível face às chamas durante um incêndio, formando inclusivamente uma camada carbonizada que garante protecção para a sua própria estrutura interna, permitindo que os vários elementos estruturais possam permanecer intactos e suportar na totalidade a carga a que ainda está sujeita durante um incêndio.

*We believe in wood as a building material. It is a sound choice, so long as fire prevention and building regulation requirements are complied with. Timber construction makes our job easier because it remains stable longer, burning slowly, steadily and predictably. (...) Its predictability puts us in control, so that we can enter the building to extinguish the fire. The failure of a wooden structure is foreseeable, whereas a steel structure will lose its stability suddenly and without warning. We therefore think modern timber houses are a good thing. (Tackle climate change use wood, p. 60)*

Ou seja, essa camada carbonizada atrasa o processo de ignição, permitindo que a madeira no seu interior não seja afectada pela acção do fogo.

Consoante o tipo de material aplicado num determinado edifício, a geometria da sua construção e ainda as dimensões dos seus espaços interiores, verifica-se que após a ignição de um incêndio este terá diferentes consequências, podendo adquirir proporções mais ou menos intensas.

Verifica-se ainda que a presença de arestas vivas e fendas permitem a oxigenação mais fácil e rápida das peças de madeira, ou seja, queimam mais depressa. A madeira revela-se assim um material resistente, nomeadamente ao calor, em que o único factor que precisa ser controlado com maior atenção é a humidade e a presença de água na construção.

Outro dos métodos que se pode implementar ao nível da construção no sentido de proteger o edifício contra as chamas é garantir que a estrutura de madeira é acompanhada de materiais não combustíveis por meio de encapsulamento, ou ainda através da utilização de materiais que cubram a superfície que sejam também não combustíveis, limitando assim o aumento do fogo e do fumo.

*The concept of building encapsulation is to protect the structural wooden parts for the whole duration of a fire by non-combustible materials, with inclusion of the condition that wooden part do not start charring. The application of non-combustible materials also limits the production of fire and smoke. (TIMMER, 2005, p.iii)*

Por outro lado, um dos aspectos que também influencia o desempenho da construção na segurança contra incêndios é o tamanho das janelas, ou seja, o factor de abertura. Na realidade, verifica-se que os edifícios com maior factor de abertura estão sujeitos a temperaturas mais elevadas durante um incêndio, no entanto são incêndios de menor duração. Pode concluir-se por isso que a libertação de energia térmica na deflagração de um incêndio é maior em edifícios com grandes janelas.

Em caso de incêndio os elementos de madeira maciços são protegidos precisamente pelo facto de serem elementos de grande espessura, quando comparados com elementos de secções mais reduzidas, utilizados noutros sistemas construtivos de madeira.

No que diz respeito à segurança contra incêndios em edifícios construídos com madeira foram estabelecidos níveis de segurança ao nível do edificado, que por sua vez derivam das consequências na sequência de um incêndio. Assim sendo, quando se levanta a questão da segurança em edifícios contra incêndios existem dois factores principais a que se devem dar maior importância, nomeadamente a segurança dos utilizadores e por outro lado os danos materiais causados. No que diz respeito à segurança das pessoas em caso de incêndio pode constatar-se que a principal causa de morte neste contexto é devido à inalação de gases e fumo, libertados durante o processo de combustão. Por outro lado, a libertação de energia térmica durante o incêndio é a principal causa para os danos ao nível da estrutura, de infra-estruturas, bens materiais e ainda do ambiente envolvente.

*Safety of people: The main cause of fatalities in case of fire is due to gases and smoke, namely approximately 80%, which are released during the combustion process.*

*Material damage: The release of heat energy during the combustion process, is the primary reason for the damage to the structure of a building and its surrounding infrastructure and environment. The general principle that leads to failure of timber buildings is basically the charring of timber during a fire, reducing the cross section of members which can fail under mechanical loading. (TIMMER, 2005, p.45)*

Desta forma, assegura-se que os danos causados pela propagação das chamas são neutralizados através do cumprimento de vários objectivos de segurança contra incêndios. Assiste-se ao cumprimento desses mesmos objectivos quando a evacuação dos utilizadores é efectuada de forma segura, quando não se dá o colapso do edifício e também quando se verifica que a propagação das chamas e do fumo é limitada. Qualquer das formas, mesmo em caso de incêndio, no que diz respeito às chamas provenientes do mesmo, estas devem ser idealmente confinadas a uma única parte do edifício, de tal modo que os danos causados sejam o mais limitados possível a esse espaço.

Relativamente às normas e regulamentos acerca da segurança contra incêndios, para além de estes documentos especificarem as regras e exigências acerca da utilização de materiais combustíveis ao nível da construção, estabelecem também regras obrigatórias, ainda durante a fase do projecto de arquitectura, para a execução de percursos eficazes para uma fuga o mais eficiente possível, em caso de incêndio.

Para além dos percursos dedicados a este propósito são também mencionados outros mecanismos para detectar e evitar a propagação das chamas, nomeadamente detectores de fumo, sistemas de alarme e sistemas de extracção de fumo.

Em suma, efectivamente verifica-se que a madeira é um material combustível, no entanto existe mais quantidade de edifícios que não suportaram as forças aplicados pela ocorrência de sismos e que acabaram por ruir, por estarem construídos de forma incorrecta, do que a quantidade de edifícios que ficaram danificados pela deflagração de chamas.

*The combustibility of wood based materials is undeniable. However the casualties worldwide caused by war-induced, or other firestorms has been significantly less than those of earthquake-collapsed reinforced concrete buildings that were poorly constructed. (TIMMER, 2005, p.4)*



### 3.5. DEGRADAÇÃO E PATOLOGIAS DA MADEIRA

São factores como a qualidade da madeira, as condições ambientais em que esta cresceu, o tempo e a intensidade das cargas que lhe são aplicadas e a dimensão dos elementos que constituem a estrutura de determinado edifício, que condicionam o comportamento deste recurso natural, quando utilizado num determinado sistema construtivo. Assim sendo a sua durabilidade é condicionada também por alguns factores, como as condições em que este material foi aplicado. Apesar de ser uma grande desvantagem a pouca durabilidade da madeira enquanto material de construção, verificando-se esta situação em condições muito desfavoráveis, a verdade é que a madeira pode ser um material duradouro se for tratado e cuidado com a devida atenção e em condições favoráveis.

Actualmente com os avanços tecnológicos e de investigação surgiram substâncias químicas com o objectivo de fazer aumentar o tempo de vida útil da madeira, aumentando por sua vez a segurança ao nível da sua aplicação na construção e a qualidade dos seus elementos construtivos. Por outro lado, permitiram a diminuição de custos associados a recuperações de edifícios ou substituição de peças pertencentes à construção, permitindo também maior versatilidade ao nível da construção.

Os aspectos que são tidos em conta quando se opta por utilizar estruturas de madeira na construção estão relacionados com a sua durabilidade, comprovada pelo facto de serem encontradas com frequência peças antigas de madeira por arqueólogos, ou ainda pelo facto de existirem no Japão templos milenares construídos em estruturas de madeira. Por outro lado, opta-se por construir em madeira pela segurança que a madeira apresenta, na medida em que este é um material que não sofre de oxidação, como é por exemplo o caso do metal e que em caso de incêndio apresenta bons níveis de resistência mecânica a este fenómeno, tal como mencionado anteriormente.

Por fim, a mão-de-obra e os equipamentos necessários também tornam a construção em madeira num processo mais económico, principalmente quando comparada com outros sistemas construtivos.

### **3.5.1. Durabilidade da madeira**

A durabilidade dos elementos de madeira aplicados ao nível da construção depende numa primeira instância da sua durabilidade natural, principalmente nos casos em que a madeira está constantemente exposta ao ar. No entanto, hoje em dia esta é uma questão que pode ser ultrapassada com alguma facilidade, graças aos tratamentos prévios que podem ser aplicados na madeira, com o objectivo de potenciar e aumentar a sua durabilidade, bem como a sua preservação e conservação.

Outro factor que pode também interferir de forma dramática na durabilidade da madeira é a sua resistência e protecção contra o fogo. De um modo geral, a maioria do público acredita que a construção baseada num sistema construtivo de madeira é algo frágil, principalmente no que diz respeito à sua resistência ao fogo. A verdade é que, tal como foi mencionado em capítulos anteriores, a madeira, por si só, tem a capacidade de atrasar a propagação das chamas, através das camadas constituintes da peça, que à medida que ficam carbonizadas, criam uma camada protectora na mesma, que a impede de perder totalmente a sua resistência mecânica.

No entanto é possível aumentar esta capacidade de resistência às chamas através de tratamentos ignífugos, que por sua vez, também retardam a propagação do fogo ao longo do elemento de madeira. A escolha deste tipo de tratamento, a sua durabilidade e eficácia, depende em boa parte da espécie de madeira que se pretende tornar mais resistente e da técnica a aplicar durante o próprio tratamento.

### **3.5.2. Durabilidade da construção**

O comportamento estrutural das peças aplicadas ao nível da construção de madeira está relacionado com a estrutura interna do material lenhoso. A aplicação da madeira enquanto material estrutural implica um domínio do conhecimento da estrutura interna dos diferentes tipos de espécies de madeira, sendo a partir deste conhecimento que se torna possível orientar as técnicas de análise e de dimensionamento das ligações entre os vários elementos construtivos, bem como as regiões especiais das estruturas, às quais é importante dedicar especial atenção, garantindo-se a segurança e durabilidade necessárias às construções em madeira.

No entanto verifica-se que normalmente as madeiras transformadas em fábrica, ou seja, as madeiras reconstituídas têm desde logo as suas propriedades alteradas, controladas e manipuladas, de modo a garantir o seu excelente desempenho estrutural, sendo esta a condição que permite aplicar a madeira, enquanto elemento estrutural, nas mais diversas formas.

Através de uma concepção do projecto de arquitectura e posteriormente da sua construção de forma adequada, verifica-se que as construções em madeira resistem a danos causados pela presença de humidade e também de insectos, garantindo vários anos de utilização do edifício, tal como o que acontece com outros sistemas construtivos. No entanto é importante garantir-se boas práticas de manutenção, através da utilização de métodos recomendados para proteger as estruturas de madeira contra os riscos de durabilidade, proporcionando assim uma vida útil máxima ao edifício.

Assim sendo, os sistemas estruturais concebidos em madeira tornam-se capazes de atender às expectativas de longevidade de um edifício que tradicionalmente utiliza outro tipo de materiais e por outro lado, possuem uma grande vantagem, no sentido em que quando o edifício chega ao seu fim de vida útil é possível e simples recuperar os elementos construtivos constituintes desse mesmo edifício, aproveitando essas peças e dando-lhes novas utilidades.

*Additionally, wood materials are easy to recover when a building is decommissioned. (Structural wood building systems, Think Wood, p.7)*

Os custos de manutenção para construções de madeira podem não ser superiores aos de outros tipos de construções. Na realidade, por exemplo as fachadas de madeira, com ou sem revestimento na superfície requerem apenas manutenção considerada comum.

### **3.5.3. Defeitos enquanto factor de degradação da madeira**

Os defeitos são elementos que podem danificar e causar limitações mecânicas na madeira ao longo do tempo. Sendo os nós os defeitos mais comuns da madeira, estes são por sua vez responsáveis por uma diminuição das capacidades físicas e mecânicas de um elemento de madeira.

Ao existir um nó, significa que a capacidade de transportar cargas aplicadas ao longo da sua estrutura diminui significativamente. Por outro lado, estes nós acabam por interferir no aspecto visual dos elementos de madeira, notando-se uma quebra do decorrer das fibras e da aparência lisa da madeira. As causas mais comuns para o aparecimento destes defeitos são o processo de crescimento e de desenvolvimento da árvore de onde é proveniente determinada peça de madeira, sendo as condições ambientais factores determinantes nesta fase de desenvolvimento.

A influência que os defeitos provocam nas peças de madeira acentua-se quando o teor de humidade presente nesses elementos é elevado. Consideram-se defeitos na madeira todo o tipo de anomalias estruturais, irregularidades, modificações químicas ou de coloração possíveis de ser observadas, que por sua vez prejudiquem a sua aplicação da construção ou decoração, verificando-se também uma redução significativa do seu valor comercial.

Considerando o caso específico dos nós presentes em determinados elementos construtivos de madeira, estes são defeitos que depreciam estes elementos, principalmente porque com a presença de nós na madeira significa que existe uma irregularidade que está presente nos veios da mesma. Assim sendo, quando por exemplo for aplicado um esforço de compressão paralelo às fibras, esse esforço terá como consequência um comportamento por parte do elemento de madeira muito instável. Os agentes atmosféricos acabam por ser também factores que podem determinar a existência de nós na madeira, assim como o vento, a neve e a água da chuva.

Por fim e com igual grau de relevância, constata-se que o processamento industrial da madeira pode dar origem a estes defeitos, uma vez que depende das condições em que é realizado o abate das árvores e a secagem da madeira daí extraída. Este último processo pode perfeitamente ser realizado ao nível do exterior, mas implica que seja feito o devido acondicionamento da madeira. Por outro lado podem ocorrer defeitos ou distorções na madeira devido à excessiva secagem ou secagem desigual das peças de madeira, como também devido ao vento e à chuva. Fenómenos de empenamento, rachas, abaulamentos e fendas são algumas das situações que ocorrem também devido a uma secagem incorrecta. Todos estes são defeitos que têm consequências directas na resistência dos elementos de madeira, bem como nas suas ligações, na sua estabilidade e na sua aparência final.

No entanto, os defeitos presentes na madeira podem ainda ser controlados através de processos de manipulação e fabricação dos próprios elementos de madeira, no sentido de estes poderem ser aplicados com o teor de humidade mais adequado consoante a sua utilização.

Verifica-se efectivamente pouca durabilidade ao nível do uso da madeira na construção de edifícios, resultante de uma utilização inadequada e desajustada, quando muitas das vezes não se trata propriamente de um defeito resultante das suas propriedades. Se as condições em que ocorre o seu crescimento, desenvolvimento e fabrico forem favoráveis, tal como o modo de utilização por parte de quem habita determinado edifício for correcto, como também se se garantir toda a manutenção necessária, verifica-se que a madeira é um material com boas capacidades físicas e mecânicas, tornando-se assim viável para se utilizar ao nível da construção.

#### **3.5.4. Patologias**

As patologias acabam por surgir principalmente com o acumular excessivo de humidade. Verificamos maior quantidade de humidade nas peças de madeira que estão em contacto permanente com o solo, ou perto do mesmo, ou seja nos pontos mais sensíveis da construção, que são eles os elementos que constituem a cobertura, as fundações.

Como tal é de extrema importância despende maior atenção no momento da escolha da espécie de madeira que irá desempenhar determinada função estrutural, como também na recorrente e necessária manutenção a aplicar nestes elementos mais sensíveis e propícios a estes fenómenos de degradação.

Por sua vez, o processo de degradação da madeira é completamente diferente de outros materiais de construção, uma vez que devido à sua constituição a madeira é um material facilmente atacado por fungos ou insectos xilófagos, o que significa que é muito importante ao conceber estruturas de madeira conferir especial atenção à sua preservação.

Por outro lado a ventilação deste tipo de estruturas é um aspecto igualmente importante, uma vez que uma estrutura de madeira não ventilada, ou em contacto cíclico com a humidade é muito mais susceptível à degradação.

Como tal a aplicação de produtos de preservação da madeira pode aumentar significativamente o tempo de vida útil das estruturas de madeira. No que diz respeito às patologias que surgem nos vários elementos de madeira, estas podem estar também relacionadas com causas estruturais, ou seja, por alguma razão poderá elaborar-se um pormenor arquitectónico que não funcione correctamente, em que por sua vez, ocorra uma má ligação entre os diferentes elementos construtivos.

#### **3.5.5. Processos de degradação da madeira**

A degradação da madeira ocorre segundo duas formas, ou por acção de agentes atmosféricos ou por mecanismos de biodegradação. Quanto aos agentes atmosféricos importa referir que no que depender exclusivamente deste factor, o processo de degradação da madeira é lento, uma vez que não é a forma mais agressiva para danificar num curto espaço de tempo este material. Um dos principais agentes atmosféricos que actua sobre a madeira é a luz solar. A incidência da luz nos elementos construtivos de madeira, por sua vez provoca o aquecimento da superfície desses mesmos elementos, a sua fissuração e também alterações cromáticas. Por outro lado, outros dos agentes atmosféricos prejudicial é também a água proveniente das chuvas, ou a humidade simplesmente presente ao nível do ambiente. Tanto num caso como noutro, se a madeira não estiver devidamente protegida destes agentes, dá-se o caso de ocorrer empenamentos e fissuras nas superfícies destes elementos construtivos.

Relativamente à degradação da madeira por mecanismos de biodegradação, este é um processo que decorre da acção de três tipos de agentes biológicos, nomeadamente os fungos, insectos e xilófilos marinhos. Estes são agentes que precisam da madeira para se alimentar e consequentemente, para se desenvolver. Com o decorrer do tempo, se nada for feito para parar com este processo de destruição, acaba por se verificar, numa primeira fase, um enfraquecimento dos elementos de madeira e por fim um total apodrecimento dos mesmos.

#### **3.5.6. Tratamentos que aumentam a durabilidade da madeira**

Os tratamentos que são aplicados na madeira com o objectivo de tratar este material e aumentar a sua durabilidade, efectivamente protegem a madeira contra ataques de agentes biológicos, no entanto não previne o facto de a madeira dilatar ou retraindo quando em contacto com a água.

Podemos inclusivamente constatar que existem inúmeros casos de construções em madeira que sobrevivem até aos dias de hoje e que continuam intactas, graças a operações de manutenção realizadas sempre que necessárias.

Desta forma, no sentido de aumentar a capacidade da madeira de resistir à presença de água é necessário aplicar-se um tratamento adicional que projecta a madeira da humidade. Por exemplo, no caso em que as estruturas de madeira estão expostas em ambientes à beira-mar, deve prevenir-se a corrosão dos elementos de ligação metálicos.

### 3.6. AS VÁRIAS FASES DE PRODUÇÃO DA MADEIRA

No que diz respeito ao processo de produção da madeira e de produtos derivados regista-se efectivamente um aumento significativo, mais notório em lugares onde se registou um abandono da utilização deste tipo de materiais. Podemos afirmar que acaba por ser um processo complexo (no entanto quando comparado com outros materiais mais tradicionais e mais usados em Portugal, a produção da madeira é na verdade um processo relativamente rápido e simples), que implica a passagem por várias fases de produção, necessárias para garantir a qualidade do produto final, o seu bom funcionamento depois de aplicado e a sua durabilidade.

As principais fases de produção deste recurso natural que podem ser desde logo enumeradas são o abate, o toramento, o falqueamento e a serragem. No entanto, quando observamos a produção de produtos de elementos de madeira que implicam um maior grau de complexidade inerente à sua produção, podemos ainda acrescentar outros dois tipos de processos à enumeração anterior: a colagem de determinados elementos e a sua prensagem.

#### 3.6.1. Abate

Quanto à primeira fase da produção de elementos de madeira, o abate implica a realização do corte da árvore pela base, no sentido de poder ser extraído o material necessário. O período ideal para efectuar este procedimento será no Inverno, uma vez que é nesta estação do ano que se verifica uma interrupção da vida vegetativa deste ser vivo. Executar o abate de árvores não altera em nada as suas propriedades mecânicas, inclusivamente é um procedimento que se torna muito importante para o crescimento, desenvolvimento e durabilidade das árvores, bem como para a durabilidade das peças de madeira já depois de fabricadas. A madeira que é extraída de árvores que foram abatidas durante o período de Inverno seca mais rapidamente, o que por sua vez significa que a probabilidade de existir fendas nos elementos de madeira diminui. O facto de se assistir a uma diminuição do número de fendas, acaba por ser uma enorme vantagem, porque o ataque proveniente de agentes biológicos será também muito menor. Todos estes benefícios acabam por ser uma mais-valia para a durabilidade e um bom desempenho mecânico dos elementos de madeira, uma vez que o grau de deterioração é baixo.



**Figura 20 – Abate de árvores**  
<http://massrealestatelawblog.com/2013/01/27/check-before-you-cut-massachusetts-illegal-tree-cutting-carries-substantial-civil-penalties/>



### 3.6.2. Toramento, falqueamento e serração

O toramento, por sua vez consiste na operação de cortar transversalmente em toros o tronco abatido, enquanto que o falqueamento consiste na operação de converter um toro em falca, ou seja, numa peça com aproximadamente o formato de um paralelepípedo. Por fim, o processo de serração pressupõe subdividir um toro ou uma peça de madeira por cortes longitudinais ou em série.

### 3.6.3. Secagem da madeira

Durante a secagem da madeira o objectivo é reduzir o teor de humidade para que a madeira seja adequada à utilização desejada. Através deste processo, quando feito de forma correcta, evitam-se fendas que por sua vez, proporcionam o aparecimento de agentes biológicos que se apoderam da madeira para se desenvolver. Existem dois tipos de secagem da madeira, a secagem ao ar e a secagem em ambiente condicionado. Secar a madeira em ambiente condicionado significa fazê-lo em estufas convencionais sob vácuo, ou por bomba de calor. Independentemente da escolha feita relativamente ao processo de secagem a adoptar, verifica-se que o importante é que a madeira seja colocada uniformemente em pilhas e separada, para permitir a circulação de ar no interior da pilha. Durante este processo de secagem da madeira é essencial que haja um controlo de qualidade com algum rigor, para que este material não seque em excesso ou de uma forma não uniforme. São situações como a existência de nós, a exposição da madeira ao vento e à chuva, o empilhamento sem espaçamentos mínimos durante este processo que podem causar defeitos ou distorções na madeira. Por sua vez são as tensões internas que se desenvolvem na madeira que são a causa dos defeitos de secagem. Por fim, de modo a qualificar a madeira como adequada ao seu uso é necessário um processo de averiguação de defeitos originados durante a secagem.



**Figura 21 –Secagem da madeira**  
<http://www.agroinformacion.com/los-bosques-espanoles-producen-tres-veces-mas-madera-de-la-que-se-corta-2/>

O facto de estarmos perante uma diversidade de processos de produção de elementos derivados da madeira, que por sua vez estão em constante desenvolvimento, no sentido de se tornar cada vez mais actuais e inovadores, com a maquinaria mais especializada possível, significa que existe um aumento na diversidade de produtos que derivam da madeira, logo a sua procura por parte do público e a sua utilização nas mais variadas obras de construção aumenta, uma vez que são garantidos vários níveis de qualidade. Verifica-se ainda um aumento da procura de elementos derivados da madeira, do que produtos que decorrem da produção intensiva da mesma.

### 3.7. PRODUTOS DERIVADOS DA MADEIRA

A madeira maciça é na verdade o produto que está na origem de todos os sistemas construtivos em madeira que conhecemos. Acaba por ser a matéria-prima que se extrai directamente das árvores, que efectivamente não precisa de recorrer a operações de produção complexas. A madeira é um material de construção que é aplicado em vários elementos estruturais, tais como vigas, colunas, treliças, no entanto devem ser tidas em consideração as limitações dimensionais das secções transversais destes elementos estruturais, bem como o comprimento de madeira sólida serrada. Antigamente efectivamente existia uma limitação quando se tratava da dimensão das peças utilizadas, uma vez que eram elementos retirados apenas de uma só árvore. Ou seja, quanto maior a peça pretendida maior teria que ser a árvore, no entanto estas são condicionantes que hoje em dia conseguem ser ultrapassadas pela pré-fabricação de produtos derivados de madeira.

Actualmente assiste-se a um aumento da utilização de produtos derivados de madeira, porque através de um longo processo industrial tornou-se possível fazer com que este tipo de produtos possua determinadas características, que fazem a diferença destas peças de madeira para outro tipo de produtos derivados de madeira. As suas propriedades físicas e mecânicas peculiares possibilitam a concretização de determinado tipo de estruturas, que por sua vez não seriam possíveis com outro tipo de materiais, graças à relação entre peso e rigidez que a madeira oferece, bem como a sua adaptabilidade e inércia térmica.

No mercado estão disponíveis elementos de madeira maciça de forma cilíndrica, classificada por sua vez de madeira redonda, a qual terá de ser previamente trabalhada, com o objectivo de se obter a forma desejada. Por outro lado existe uma enorme variedade de peças de madeira serrada, com diferentes dimensões, que por sua vez é aplicada em várias situações, com a capacidade de desempenhar diversas funções na construção, nomeadamente a sua função de carácter estrutural. A madeira serrada acaba por ser um tipo de peça que resulta de operações de serração do tronco proveniente da árvore, que por sua vez exibem secções quadradas ou rectangulares.

A espécie de madeira que é escolhida é uma característica importante a ter em conta, porque a resistência natural da madeira está directamente relacionada com esta questão.

Em boa verdade, a espécie de madeira que melhor resulta para qualquer tipo de aplicação na construção é o tipo de madeira que provém de espécies resinosas, cuja correcta utilização depende ainda assim da exposição à humidade a que este tipo de elementos maciços vão estar expostos. Este torna-se um factor importante, uma vez que a quantidade de humidade influencia directamente o bom desempenho destas peças. Por fim, para um bom desempenho de qualquer elemento proveniente da madeira é necessário garantir um tratamento adequado ao mesmo contra os agentes biológicos, como fungos e insectos, no sentido de não danificar a resistência mecânica da madeira. Actualmente os processos de fabrico e transformação da madeira têm como objectivo alterar algumas das características da madeira, que a tornam num material mais vulnerável, no sentido de esta adquirir um comportamento mais homogéneo e previsível.

### 3.7.1. Madeira lamelada

Algumas das vantagens dos materiais que derivam de produtos lamelados estão associadas ao facto de se conseguir produtos de maior resistência, em que as suas propriedades de resistência podem ser calculadas com maior precisão, uma vez que com o seu processo de fabrico é possível atribuir-se uma classificação deste material que facilita a atribuição das suas propriedades físicas e mecânicas. Utilizar na construção elementos de madeira lamelada colada com propósitos estruturais oferece vantagens ao nível da resistência mecânica e permite um elevado rácio de rigidez/peso próprio da estrutura global, sendo também possível alcançar uma resistência considerável face ao fogo. Estes são também elementos que podem ser fabricados com comprimento e largura desejados e ainda podem ser produzidos com formas curvilíneas. Outra das vantagens destes produtos lamelados está relacionada com o facto de ser um material mais uniforme com menor probabilidade de empenar e de torcer, quando comparados com a madeira maciça convencional.



**Figura 22 - Estrutura de madeira colada**  
<http://eco-wald.com/produkcja/kleenij-brus/>

Uma vez que as peças de madeira lameladas acabam por ser peças mais resistentes quando comparadas com a madeira extraída directamente das árvores, permite que sejam aplicadas cargas mais elevadas, sem comprometer a tensão de segurança do material, uma vez que os defeitos do material são distribuídos de forma mais homogénea, conseguindo-se uma execução de peças de madeira mais resistentes, que por sua vez conferem mais segurança à estrutura global.

A madeira lamelada colada é um tipo de madeira estrutural composta, que nasce com a necessidade de se obter elementos de madeira de alta qualidade e com determinado comprimento, assim como com um comportamento estrutural mais controlado.

Por sua vez as peças de madeira lamelada colada acabam por ser elementos muito versáteis na construção, possíveis de se aplicar nas mais diversas situações, ou seja, desde mobiliário, em trabalhos de carpintaria, como também podem ser aplicados em situações que implica funções estruturais. São um produto que deriva directamente da madeira e que não encontram limitações na sua produção no que diz respeito às suas dimensões.

O processo de fabrico da madeira lamelada colada é muito simples, traduzindo-se na sobreposição de tábuas de madeira aparelhada, orientadas com o fio sempre na mesma direcção com que são coladas, de forma a obter as dimensões desejadas. A laminagem por exemplo é um desses processos que consiste em cortar a madeira em réguas ou lamelas, colocadas de forma a diminuir a influência dos defeitos inicialmente existentes nas peças. Este é um processo possível graças aos progressos realizados ao nível das colas utilizadas em madeira, bem como ao nível dos progressos tecnológicos.

Foi através do desenvolvimento da tecnologia dos lamelados colados que se tornou possível tirar o máximo de partido possível das vantagens da madeira, bem como eliminar as desvantagens que esta apresenta. Esta técnica consiste na sobreposição de lamelas coladas, fazendo com que este seja um material com uma excelente resistência a cargas aplicadas e de grande durabilidade.



**Figura 23 - Estrutura de madeira colada**

<http://eco-wald.com/produkcja/kleenij-brus/>



**Figura 24 - Elementos construtivos de madeira colada**

<http://eco-wald.com/produkcja/kleenij-brus/>

Uma das vantagens dos lamelados colados é a prevenção de fendas nas peças de madeira, uma vez que as forças de tracção aplicadas na peça estão homogeneamente distribuídas, obtendo-se desta forma um material muito mais resistente. No que diz respeito à durabilidade destes elementos construtivos é necessário cuidado tanto ao nível do seu corte, como também na secagem e na sua manutenção. A utilização deste produto derivado da madeira torna-se também muito versátil, permitindo um design flexível, tal como a possibilidade de se obter tanto uma vasta gama de dimensões a pedido, como peças com dimensões standart. É um produto fácil de conjugar com outros materiais e com outras soluções construtivas, que se revela forte e resistente e ainda com uma boa capacidade de resistência ao fogo. É um produto derivado de madeira certificado, com um bom desempenho ao nível acústico e que garante conforto ao nível do interior da habitação.

Usar madeira lamelada colada significa que torna-se possível evitar defeitos provenientes da madeira, mais difíceis de prevenir quando se utiliza madeira maciça extraída directamente do tronco da árvore. Desta forma está a utilizar-se um tipo de material mais homogéneo e consequentemente mais fiável e resistente. No que diz respeito às ligações necessárias para o bom funcionamento da estrutura concebida em madeira, estas devem ser feitas através de elementos metálicos, que para além de prevenir as deformações no plano ortogonal à estrutura global, têm também como objectivo o facto de garantir a estabilidade da estrutura face a forças cíclicas aplicadas, nomeadamente as que têm origem em sismos.

### 3.7.2. Contraplacado



**Figura 25 – Placas de contraplacado**

<http://esmorizplaca.pt/contraplacado/>

O contraplacado é um produto derivado de madeira formado por várias folhas de madeira sobrepostas e coladas umas sobre as outras sob pressão, de modo a que a direcção das partículas de cada camada seja perpendicular às adjacentes. Este é um processo que confere às placas de madeira a resistência necessária e boas propriedades de rigidez, tornando-se num material mais homogéneo, permitindo ainda peças de maiores dimensões. Quando comparados com as peças de madeira maciça, os produtos contraplacados não apresentam propriedades mecânicas tão variáveis, uma vez que são atenuados os efeitos da presença de defeitos nos elementos de madeira.

O contraplacado foi o primeiro produto a ser produzidos com origem na madeira. O facto de a estrutura destes materiais ser cruzada tem como vantagens o facto de limitar as variações dimensionais no plano, reduzir a anisotropia no que diz respeito à madeira maciça e ainda o facto de favorecer a colocação de pregos ou parafusos, como meio de ligação.

Os produtos de contraplacado podem ser planos ou moldados, sendo classificados no que diz respeito à sua durabilidade e propriedades mecânicas, podendo ser aplicados para efeitos estruturais ou até mesmo noutras situações. Geralmente produtos de contraplacado são produzidos a partir de madeiras de espécies resinosa, folhosa ou ainda a combinação das duas.

Por fim, o comportamento mecânico do contraplacado está intimamente relacionado com as propriedades mecânicas das suas folhas e com a sua orientação. Tal como o que acontece com a própria madeira maciça, extraída directamente da árvore, o bom funcionamento de elementos de contraplacado está directamente relacionado com o tipo de esforço a que este é solicitado, tal como com a duração da carga aplicada.

### 3.7.3. Outros produtos derivados

Existem ainda outro tipo de produtos derivados directamente da madeira, sobre os quais se tem verificado uma crescente procura e entusiasmo quanto à sua utilização em diversas situações.

Alguns dos contributos a que podemos assistir com os recentes estudos e evoluções ao nível de materiais compósitos e produtos derivados da madeira como o MDF e o OSB são o facto de se ter tornado possível ultrapassar algumas limitações no que diz respeito às dimensões das secções transversais das peças de madeira, por causa do comprimento da árvore, bem como dos defeitos naturais deste recurso natural. Graças ao desenvolvimento tecnológico de várias técnicas de laminação foi possível obter madeiras de qualquer formato e de alta qualidade, verificando-se apenas uma limitação ao nível da sua produção, relacionada com questões de transporte. Uma vez correctamente dimensionadas, construídas e devidamente tratadas, as estruturas de madeira conseguem ser extremamente duráveis. Tendo ainda uma grande vantagem associada à sua utilização, que é o facto de poderem ser facilmente reabilitadas, ou até mesmo alteradas, no caso de ficarem danificadas.



**Figura 26 – Placas de OSB**  
<http://www.harlowfencing.com/product/osb-3-board/>

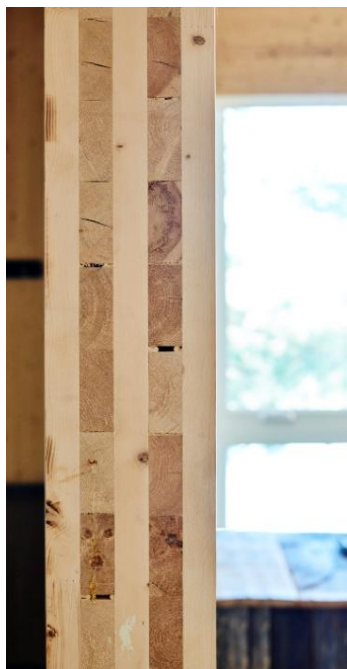


**Figura 27 – Placas de MDF**  
<http://www.sindicatodaindustria.com.br/noticias/2016/09/72,96512/simone-netto-esclarece-duvidas-sobre-mdf-e-mdp.html>



Alguns produtos derivados de madeira podem ser utilizados para fins estruturais, uma vez que as fibras constituintes das peças de madeira estão orientadas segundo o eixo dessas mesmas peças, conferindo-lhes uma boa resistência na direcção das fibras. As características físicas e as propriedades mecânicas dos produtos derivados de madeira dependem das propriedades da madeira utilizada durante o seu processo de fabrico, do controlo de qualidade realizado e da aplicação final que se dá às peças fabricadas. Estes são produtos de madeira que derivam das limitações associadas a secções de madeira maciça serrada, tais como o tamanho das mesmas e da sua qualidade. Desta forma começaram a desenvolver-se produtos derivados da madeira, sendo produzidos com colas, de diversas formas. Estes são produtos desenvolvidos e testados para determinadas especificações, de acordo, com normas nacionais ou internacionais. Os produtos derivados da madeira podem ainda ser combinados entre eles, através de colagens ou fixados mecanicamente, por meio de ligações metálicas, de forma a constituírem uma secção combinada estruturalmente eficiente.

Algumas das vantagens dos produtos derivados de madeira estão também relacionadas com a possibilidade de produzir-se esses mesmos produtos para uma performance específica, na medida em que são seleccionados em detrimento da madeira maciça, atendendo às suas várias aplicações possíveis. Através dos produtos derivados de madeira é possível obter-se secções maiores, eliminar ou diminuir a presença de defeitos presentes nas peças construtivas. Outras das vantagens prende-se com o facto de na maioria das vezes estes produtos derivados serem mais resistentes e menos susceptíveis à variação de humidade e consequentemente a danos, principalmente quando lhes são aplicados tratamentos de prevenção e com o objectivo de aumentar a durabilidade deste material.



**Figura 28 – Painél CLT**  
<https://www.archdaily.com.br/br/763898/cross-laminated-timber-cottage-kariouk-associates/54b48176e58ece528e000>

147

Os painéis de lamelas coladas cruzadas, por exemplo, são peças produzidas em camadas sobrepostas, com direcções diferentes, ortogonais entre si, coladas com adesivos específicos. Apresentam uma excelente resistência a forças aplicadas em diferentes direcções, uma vez que os painéis são montados desde início em duas direcções distintas, significa que os mesmos vão estar disponíveis para transportar forças nessas duas direcções. É um material de construção muito versátil, com capacidade para desempenhar as mais variadas finalidades e funções, sendo possível de ser aplicado por exemplo em paredes, pavimentos, vigas, coberturas, ou ainda como elementos únicos com função estrutural.

Este material apresenta uma boa capacidade de resistência ao fogo, garantindo um baixo nível de condutibilidade térmica e ainda um bom isolamento acústico.

No caso das placas de aglomerados de madeira, estas são constituídas por fibras de partículas da madeira aglomeradas entre si, coladas e prensadas, assumindo uma forma rectangular, constituídos por três camadas.

Existem também as placas de OSB rectangulares, constituídas por lascas de madeira com cerca de 0,5mm de espessura. Pela constituição das lascas destas placas existem diferenças nas propriedades mecânicas nas duas direcções principais no plano das mesmas. A composição das placas em camadas cruzadas confere ao painel melhor distribuição da sua resistência nos sentidos longitudinal e transversal, para além de melhorar a sua estabilidade dimensional.

Em suma, assiste-se cada vez mais a uma procura mais acentuada pela utilização destes produtos derivados de madeira, graças às vantagens que estes materiais apresentam, quando comparados com outros tipos de uso da madeira. Essas vantagens estão associadas ao custo mais baixo destes derivados, as variadas gamas de dimensões que existem destas peças, o seu acabamento, a sua fácil e rápida aplicação em obra, bem como as suas inúmeras possibilidades de utilização.

Apesar dos produtos derivados de madeira implicarem mais custos durante o seu processo de produção, estes são na verdade, materiais que garantem vantagens económicas posteriores, principalmente no que diz respeito às grandes dimensões das suas secções, atendendo ao facto de ser difícil obter árvores que permitam por si só essas secções.



## 4. SISTEMAS ESTRUTURAIS, AVANÇOS TECNOLÓGICOS E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

### 4.1. CONCEPÇÃO DE UMA ESTRUTURA



**Figura 29 – Estrutura de madeira**  
<https://inhabitat.com/rintala-eggertsson-architects-spectacular-wood-pavilion-stretches-across-a-norwegian-beach/>

Em termos construtivos a estrutura de um determinado edifício resulta da ordem que se obtém através de fenómenos de organização ou físicos, na medida em que os elementos estruturais quando devidamente organizados e dispostos permitem a obtenção de ordem na transferência de cargas ao longo da estrutura global de um determinado edifício. Significa portanto que num determinado edifício a estrutura tem como objectivo a transferência de cargas ao longo do edifício até às suas fundações, sendo este um fenómeno muito importante, uma vez que este se torna num pré-requisito para que o edifício se mantenha de pé, na vertical. Por sua vez, os elementos estruturais contribuem para que exista ao nível da estrutura ordem para a transferência das cargas ao longo da estrutura global de determinado edifício.

Um sistema construtivo deve basear-se numa ordem hierárquica, com elementos de primeira ordem, que influenciam e determinam quais os que são de segunda ordem. Ao definir a relação entre as partes incluídas do sistema, uma adaptação mútua das partes deve orientar a solução final. O uso de um sistema estrutural exige um trabalho inicial cuidado, de correspondência entre elementos estruturais, bem como a optimização dos seus elementos.

No sentido de satisfazer os requisitos relacionados com a estabilidade de determinado sistema estrutural, a estrutura deve conter elementos rígidos, como também ligações entre os vários elementos que consigam transferir de forma adequada as forças a que essa mesma estrutura estará sujeita. Para um bom comportamento estrutural é importante ter em conta quais os elementos estruturais que fazem o transporte das cargas até às fundações, bem como o modo pelo qual será feita essa transferência de forças entre os vários elementos estruturais.



**Figura 30 – Construção em pedra**  
<http://lightartacademy.com/blog/gear/an-unusual-stone-house-in-portugal/>

No caso de estruturas directamente em contacto com o exterior, estas têm que ter a capacidade de suportar cargas provenientes, por exemplo da acção do vento. No caso de edifícios construídos em pedra, essa questão não se torna um problema, visto que o peso próprio do material já é suficiente para manter a estrutura.

Por outro lado, no caso de edifícios construídos com estruturas mais leves, o mesmo já não se verifica, na medida em que o peso próprio da estrutura já não é suficiente para esta tenha a capacidade de suportar determinadas cargas aplicadas. Como tal, o facto de a estrutura ser considerada leve, esta deve ser complementada com outro tipo de estruturas, que ficam incorporadas na estrutura inicial.

Desta forma, primeiramente uma estrutura tem que estar apta a suportar as cargas provenientes do seu próprio peso, ou seja com cargas verticais que têm origem na acção da gravidade, como também cargas de serviço variáveis e ainda cargas que provêm das intempéries, como a neve e o vento. Por outro lado a estabilidade da estrutura é necessária também face a forças laterais, que por sua vez provocam torções, normalmente resultantes da acção do vento, ou da acção sísmica.

A estabilidade de determinado elemento estrutural depende ainda das suas características e propriedades, o que por sua vez também está directamente relacionado com a capacidade que esse elemento terá para transportar cargas até às fundações do edifício e por fim, essa estabilidade depende também da forma como é feita e montada a ligação entre dois elementos estruturais distintos. No caso específico de estruturas concebidas através de painéis de madeira a sua estabilidade dependerá da orientação desses mesmos painéis e da articulação entre todos eles.

No sector da arquitectura, para que o projecto possa passar da fase dos desenhos originais arquitectónicos, para a realidade física, existe a necessidade de organizar também os elementos estruturais do edificado, tal como mencionado anteriormente, para além da distribuição espacial e da aplicabilidade dos materiais. Uma estrutura arquitectónica pode ser definida como uma estrutura com aspectos tanto técnicos e mecânicos, como também espaciais e materiais. Assim sendo, a estrutura é um pré-requisito para a sua fase de uso, bem como para o seu tempo de vida, atendendo às suas características, igualmente com o que se passa com o restante do edifício construído.

Perante o arquitecto e o engenheiro, a abordagem de cada um destes profissionais para com a concepção da estrutura do edifício é diferente. As principais preocupações do engenheiro estão relacionadas com a capacidade de carga dos materiais a utilizar, a sua sustentabilidade e ainda o seu tratamento racional.

Frequentemente o engenheiro salienta o comportamento estrutural dos materiais, bem como a sua produção, preocupando-se assim com a fase de produção da própria estrutura, que posteriormente, em determinadas situações acaba por ficar mais oculta.

Tudo tem que se encaixar, combinar e se adaptar durante a formação da estrutura global do edifício, que por sua vez na maioria das vezes acaba por ficar coberta no final da fase da pré-utilização.

Por outro lado, o arquitecto preocupa-se mais com o aspecto visual e com a possível experiência sensorial ao nível dos sentidos, como o tacto, o olfacto e ainda a experiência ao nível da vivência que se pretende transmitir ao utilizador, durante a vida útil do edifício. Significa portanto, que o trabalho arquitectónico tem como objectivo o ponto de vista utilitário e sensorial do edifício, bem como o seu resultado ao nível do que está visível.

Atendendo a estas duas perspectivas de abordar a concepção da estrutura do edifício podemos constatar que ambas são necessárias e pertinentes, na medida em que apesar de serem duas formas distintas de olhar para a mesma questão, não se podem considerar opostas, mas sim ambas importantes para a concepção de todo o edifício. Assim sendo, o projecto arquitectónico funde-se com a engenharia estrutural durante a fase de construção do edificado, implicando ambas as áreas nas características espaciais e utilitárias do edifício, na medida em que o que se considera como sendo uma boa arquitectura deve incluir uma boa função, bem como um bom design estético e estrutural.

#### **4.1.1. Morfologia estrutural**

Quanto à forma e à morfologia estrutural, estas duas questões estão directamente relacionadas com o material escolhido, que por sua vez aplicado segundo uma determinada técnica gera a expressão do próprio design do edifício. No sentido de encontrar essa expressão torna-se importante o estudo das características e propriedades dos materiais a aplicar na construção, sem esquecer também o conhecimento sobre a sua performance quando aplicados ao nível da estrutura global do edifício. Quanto ao carácter e ao potencial de determinado material, estas são características que estão directamente relacionadas com a natureza das suas próprias limitações, na medida em que é necessário entender o que é que determinado material permite fazer e obter ao nível da construção.

Quanto à linguagem material que se pretende transmitir ao utilizador, esta está relacionada com a experiência física que se pretende ao nível do edificado, nomeadamente o tacto das superfícies, directamente relacionadas com a textura dos materiais aplicados.

É a escolha do material a utilizar na concepção de determinada estrutura que vai determinar as características do espaço criado. Como tal, o conhecimento sobre os materiais a aplicar na construção, bem como o que estes conseguem fazer, o conhecimento das suas propriedades, para que é que podem ser usados e de que forma, são todas elas questões decisivas e muito importantes para o resultado final, tanto ao nível da arquitectura em si, ou seja do edificado, bem como ao nível da estrutura global do edifício. Assim sendo, são as propriedades do próprio material que influenciam directamente as possibilidades do design final, bem como da experiência sensorial que se pretende transmitir, nomeadamente a densidade dos mesmos, a rigidez, a sua capacidade de resistência, se for o caso a existência de nós, a sua capacidade de absorver calor e/ou humidade. São as propriedades dos materiais que se tornam num dos pré-requisitos para o que poderá ser feito ao nível da construção, qual a imagem final e ainda quais as experiências sensoriais que se farão sentir através da sua utilização.

No caso específico da madeira, este é um material que transmite uma rigidez relativamente alta, em que as suas propriedades podem variar consoante os diferentes elementos construtivos a considerar e ainda consoante o ambiente onde se desenvolveram, em que esta última questão, por sua vez poderá afectar a qualidade da madeira a utilizar. Considerando ainda a madeira, verifica-se que as suas propriedades influenciam fortemente o resultado final de cada elemento construtivo, que por sua vez tem consequências directas ao nível técnico, funcional e estéticas. Desta forma, pode considerar-se que as propriedades de determinado material conduzem a certas formas de optimização do mesmo e ainda o facto de os materiais poderem conduzir-nos também a um certo tipo de design que se pode considerar característico.

No sentido de aumentar as possibilidades de aplicação dos materiais construtivos, deve estudar-se e considerar-se cada vez mais as suas limitações, bem como as suas propriedades específicas, com o objectivo de tornar a experiência que se faz ao nível da sua utilização no edifício mais fidedigna e de se manter fiel à sua linguagem arquitectónica.

Diferentes materiais têm diferentes propriedades e características, permitindo por sua vez obter diferentes formas, no entanto nem todas as formas são possíveis de se obter através de todos os materiais. Assim sendo, para se conseguir obter uma determinada forma, atendendo às propriedades do material em questão é necessário recorrer a ferramentas e técnicas específicas.

Como tal, no sentido de se garantir a forma desejada ao nível do design do edificado, ou até mesmo de determinado produto, torna-se relevante combinar as características da sua função, com as propriedades do material escolhido.

Ao longo deste processo de concepção, a capacidade de criação do projectista torna-se de grande importância, assumindo-se como um terceiro factor que contribui para o sucesso da construção. Significa portanto que a capacidade de criação por parte do profissional estará directamente dependente do conhecimento do próprio projectista, bem como da sua experiência para com a função do objecto e do material escolhido a aplicar.



**Figura 31 - Troncos de madeira aplicados na construção**  
<http://ecowald.com/produkcia/ocilindrovanno-e-brevno/>

Em jeito de exemplo, considera-se a comparação entre dois edifícios com duas topologias estruturais diferentes: um em que se utiliza pedra e outro com a aplicação de madeira. No caso em que é aplicada a pedra, verifica-se ao nível da construção que a linguagem arquitectónica que se obtém é mais lisa e homogénea, caracterizada por superfícies mais planas e um carácter visível da pedra bruta que se mantém na parede. Por outro lado, quando é utilizada a madeira ao nível da construção obtém-se edifícios mais marcados pelo ritmo dos troncos individuais, postes ou placas, onde se fazem notar os veios da madeira, ou até mesmo dos nós, quando os mesmos existem.

Desta forma pode verificar-se que o tratamento aplicado nos materiais resulta das propriedades dos mesmos e das técnicas disponíveis para os trabalhar, em que no caso específico das construções tradicionais, os materiais utilizados seguem regras que dependem directamente de ferramentas mais simples. Os novos estudos sobre os diferentes materiais, bem como o desenvolvimento de novas técnicas de utilização dos mesmos tem gradualmente oferecido novos tratamentos e formas de transformar a aparência natural dos materiais.

Como tal, através das transformações da aparência dos materiais, no caso específico da madeira, a sua linguagem tem-se alterado gradualmente num dialecto que não era o seu originalmente. Mais concretamente as placas serradas começaram a ser utilizadas ao nível do projecto com o objectivo de proteger o interior dos elementos construtivos com capacidade de transporte de carga, no entanto a madeira também tem sido considerada, ao longo da história como sendo um dos materiais mais nobres.

Durante o século XX verifica-se uma tendência relacionada com a optimização tanto de estruturas, bem como de elementos estruturais, através da minimização do material aplicado, em que o objectivo seria tirar partido do melhor desempenho do material em causa, bem como da sua capacidade de resistência e ainda reduzir o volume do material consumido. Desta forma, verifica-se que esta torna-se uma situação que implica grandes exigências ao nível da qualidade do material, em que primeiramente é muito importante olhar para as suas propriedades e características, para depois perceber se o mesmo é ou não adequado para ser aplicado em determinada situação.

No caso específico do aço, este é um tipo de material que está directamente relacionado com a engenharia, tratando-se por sua vez de um material refinado e fundido para que posteriormente possa ser projectado e fabricado tendo em conta o seu conteúdo, características e propriedades. É portanto um material manipulado em fábrica desde a sua primeira fase de concepção, sobre o qual é permitido controlar as suas propriedades, para que se possa tirar o melhor partido possível das suas qualidades enquanto material construtivo e ainda atendendo ao tipo de aplicação a que se destina.

Por outro lado, no que diz respeito à madeira, este não é um produto que provém da engenharia. A madeira é na realidade um tipo de material que pode ser moído e refinado, com o objectivo de se obter painéis, em que a madeira que é moída e aglutinada com cola, dando origem a vários tipos de painéis. Assim sendo, através deste processo produtivo, associados a materiais provenientes da madeira é possível controlar as propriedades destes painéis, conseguindo-se maior uniformidade e homogeneidade.

Uma única peça de madeira mostra propriedades que variam ao longo de toda a sua secção transversal, sendo esta uma situação causada pelo facto de a madeira ser um recurso natural, proveniente da natureza, mais concretamente das árvores. Em boa verdade, as árvores desenvolveram uma estrutura interna complexa para transportar cargas até às suas raízes. As cargas a que estes seres vivos estão sujeitos têm origem no seu próprio peso, como também origens externas nomeadamente, forças aplicadas como o vento.

Os nós presentes na madeira, bem como os seus anéis de crescimento e as suas características heterogéneas e anisotrópicas são todos aspectos considerados relevantes e necessários ao desenvolvimento da árvore, no entanto quando a madeira é extraída e aplicada em várias situações construtivas, estas são questões que podem levantar inúmeros problemas, uma vez que estes são aspectos que diminuem a capacidade de resistência deste recurso natural. Desta forma torna-se muito importante conhecer as suas características e propriedades, no sentido de poder ser um tipo de material aplicado ao nível da construção de forma adequada.

No entanto, ao serrar a madeira em várias lamelas e ao colá-las sobrepostas em camadas, é possível diminuir, ou até mesmo eliminar os defeitos e os aspectos anteriormente mencionados que colocam em causa o bom desempenho dos elementos de madeira. Desta forma obtém-se produtos com maior capacidade de resistência, maior qualidade e mais homogéneos. Na realidade os produtos de madeira colados já estão disponíveis no mercado há algum tempo, nomeadamente os contraplacados e os lamelados.

Por outro lado, materiais como o aço e o betão mostram uma variação insignificante das suas propriedades ao longo da sua secção transversal. Porém, não é possível olhar para a madeira da mesma forma que os materiais anteriormente mencionados, ou seja não é possível utilizar a madeira como sendo um material modificado industrialmente. Entender a madeira como material a aplicar ao nível da construção torna-se assim num tema importante de pesquisa dentro da indústria madeireira.

#### **4.1.2. Cargas que actuam numa estrutura de madeira**

No que diz respeito às propriedades mecânicas da madeira importa entender as acções que condicionam o comportamento da mesma, nomeadamente a duração da carga aplicada e a sua origem, que por sua vez podem gerar tensões de tracção ou de compressão, aplicadas de forma paralela ou perpendicular às fibras. Uma vez que a madeira é um material constituído por fibras que assumem diferentes direcções, significa que a sua resistência depende da direcção em que a carga é aplicada. Quer isto dizer que existe diferença nas tensões de compressão ou de tracção que surgem. Por outro lado, importa mencionar características como o seu módulo de elasticidade, flexão e a sua resistência ao corte.

Mais do que falar sobre a resistência mecânica global de um determinado elemento estrutural de madeira, deve entender-se qual o seu comportamento perante um determinado tipo de solicitação, quando lhe é aplicada uma determinada carga, caracterizada pela sua intensidade, duração, ponto de aplicação e direcção. Esta última variante associada a uma determinada força aplicada num elemento de madeira torna-se importante, porque verificam-se grandes diferenças de valores de resistência para solicitações no sentido paralelo ou perpendicular às fibras das peças de madeira.

Por outro lado, o esforço a que uma peça de madeira está sujeita e que por sua vez tem capacidade de suportar é afectado directamente pela direcção em que a carga é aplicada relativamente à direcção das fibras, como também está relacionado com a duração da carga aplicada, a massa específica do elemento de madeira, o teor de humidade presente no mesmo e ainda a temperatura a que a madeira estará sujeita.

A correcta verificação do desempenho de estruturas exige uma avaliação fidedigna das acções que possam actuar durante o período de vida útil dessa mesma estrutura, no sentido de entender correctamente o carácter das mesmas, ou seja se são dinâmicas ou estáticas, independentemente dos materiais que são utilizados para a concepção dessa mesma estrutura.

No caso das estruturas em que é utilizada a madeira como material de construção existe outro factor importante a considerar, que é a classificação das acções. Esta classificação regula o tempo a que a estrutura se encontra sujeita a uma determinada acção.



O tempo de duração das cargas aplicadas num determinado elemento de madeira é um factor importante na medida em que quando uma determinada peça está sujeita a uma carga prolongada oferece uma resistência menor, do que se estiver sujeita a uma carga aplicada durante um curto espaço de tempo.

As deformações e as tensões que se verificam num elemento estrutural de madeira, quando sujeito a uma determinada aplicação de cargas, são complexas, como tal para um correcto dimensionamento de uma determinada peça de madeira é necessário ter em conta a natureza heterogénea deste material.

Para que seja possível quantificar os esforços que actuam sob uma determinada estrutura é necessário definir-se previamente as acções e a combinação das mesmas. Através do Regulamento de Segurança e Acções (RSA) é possível definir-se as acções, por outro lado através do Eurocódigo 5 verifica-se a segurança de acordo com as normas previstas no mesmo. Através da elaboração de regulamentação como o Eurocódigo e o RSA é possível formalizar uma base comum para o dimensionamento de estruturas. São as acções que actuam nas estruturas que estão na origem do aparecimento de esforços ou deformações nas mesmas. Assim sendo, estas acções actuantes podem ser caracterizadas como acções permanentes, variáveis ou acidentais.

As acções permanentes estão relacionadas com o peso próprio dos materiais, que por sua vez apresentam valores que se podem considerar constantes ao longo da vida útil da estrutura. No caso das acções variáveis, estas dizem respeito às sobrecargas de utilização, à acção do vento e da neve, cuja variação pode ser significativa. Por fim, as acções acidentais correspondem a um tipo de acção que tem uma probabilidade de ocorrência bastante diminuta, mas de grande intensidade.

## **4.2. SISTEMAS CONSTRUTIVOS QUE DERIVAM DA MADEIRA ENQUANTO ELEMENTO ESTRUTURAL**

A relação que o homem estabelece com a madeira, enquanto material construtivo, com o objectivo de fazer parte da construção do seu abrigo, começa desde muito cedo. Os refúgios naturais que construía eram constituídos por arcaboços de madeira cobertos por folhas e ervas, verificando-se mais tarde, que este tipo de construção seria responsável pela origem das estruturas pilar-viga, ainda hoje utilizadas.

Podemos inclusivamente verificar que desde que o homem abandonou a gruta, começa a sentir necessidade e a ter aptidão para construir estruturas de pequenas dimensões em madeira, que mais tarde acabam por se tornar mais complexas e consequentemente atingem maiores dimensões. Verifica-se ainda que os registos mais significativos de construções feitas em madeira são casas de troncos, que se encontram um pouco por toda a história da humanidade, onde são utilizados somente os troncos de árvores. Para concretizar este tipo de construção dispõem-se troncos de árvores na horizontal, garantindo-se à estrutura global maior estabilidade. No entanto, sentia-se alguma dificuldade em executar este tipo de construção porque nem sempre era possível encontrar um número suficiente de troncos direitos. Outro grande inconveniente destas estruturas era o facto de pequenas partes dos seus elementos constituintes ficarem expostos às intempéries, o que por sua vez era motivo para uma aceleração no processo de degradação dos mesmos.

É a partir do século XIV que este tipo de construção torna-se mais eficiente com o aparecimento das serrações mecanizadas. A partir deste momento consegue-se concretizar este tipo de edifícios com elementos regulares, em vez dos troncos provenientes directamente das árvores.

Com o aumento da resistência mecânica da madeira, o desenvolvimento das técnicas construtivas e o aperfeiçoamento do seu corte, torna-se possível construir utilizando-se menos quantidade de madeira, conseguindo-se aligeirar o peso da sua construção, como também reduzir significativamente o seu custo.

Ao estabelecerem-se serrações mecanizadas torna-se viável cortar um maior número de elementos com as mesmas dimensões e idênticos entre si, tornando por sua vez a construção mais rápida e simples.

A madeira passa a ser um dos materiais mais usados na construção e é parte integrante dos primeiros sistemas construtivos que começam a surgir, em paralelo com a pedra e o barro. Esta é uma situação que só é possível graças às características peculiares da madeira, que por sua vez a tornam versátil, resistente e durável, facto que se verifica uma vez que existem construções de há muitos anos que perduram até aos dias de hoje.

Podemos ainda verificar que existem várias formas de construir em madeira, que por sua vez são uma consequência do conjunto de vários factores, tais como a disponibilidade de ferramentas, a espécie de madeira a utilizar em determinada construção, o lugar onde a mesma é feita e o clima a que será exposta. Sabemos que a sofisticação das ferramentas disponíveis é algo que foi evoluindo ao longo do tempo, através dos processos de indústria e do avanço da tecnologia, o que significa que quanto mais sofisticadas as ferramentas ao dispor do homem, mais complexa e viável se tornaria a construção em madeira. Quanto à espécie de madeira a ser utilizada varia também consoante o lugar da construção e o clima. O tipo de madeira a ser utilizado derivada de uma determinada espécie arbórea, que por sua vez se desenvolve segundo determinadas condições ambientais e climáticas, o que por sua vez significa que a escolha da espécie de onde provém a madeira a ser utilizada tem muita influência no resultado final que se pretende em determinada construção e no seu desempenho em termos estruturais e de durabilidade. Por outro lado, o meio que envolve a construção concebida com elementos de madeira tem influência na escolha do seu sistema construtivo, na sua resistência à passagem do tempo e no tipo de tratamento de manutenção que será necessário administrar.

Assim sendo, verifica-se que estão disponíveis três principais sistemas construtivos em madeira, nomeadamente o sistema aligeirado, pilar-viga e maciço, e que cada um destes sistemas construtivos tem os seus princípios construtivos, com vantagens e exigências que se adequam à aplicabilidade dos mesmos consoante a situação e o resultado final que se pretende.

#### **4.2.1. Sistema construtivo Pila-viga**

O sistema construtivo pilar-viga acaba por ser a técnica que impulsionou a construção em madeira na arquitectura por todo o mundo, tornando-se no sistema construtivo mais utilizado e antigo, remetendo-nos para a construção da cabana.

Este sistema construtivo em madeira consiste num conjunto de pórticos que formam uma estrutura autoportante, não recorrendo ao seu peso próprio para conferir estabilidade à estrutura. Traduz-se numa rede primária de pilares e vigas à qual se soma um sistema de contraventamento lateral, secundário, presente nas paredes e pavimentos, utilizando-se um grande número de elementos de largura reduzida, uma vez que a carga é distribuída de forma alternada através de muitos elementos.

A flexibilidade deste tipo de construção fez com que esta solução construtiva tivesse a capacidade de resistir a sismos, de forma mais eficaz do que a construção de alvenaria, que por sua vez recorre ao seu peso próprio para o seu funcionamento enquanto sistema construtivo.

As ligações entre os elementos construtivos que constituem a estrutura são feitas através de entalhes, ou seja, de cortes na madeira em negativo e positivo. A estabilidade da ligação entre as peças é garantida pelo próprio encaixe esculpido na madeira, ou pelo reforço através de buchas de madeira, ou pregos. Por outro lado o isolamento necessário à construção e impermeabilização são colocados de uma forma simples, junto com o forro da estrutura.

Neste sistema construtivo os elementos construtivos estão integrados nas paredes. Os pilares e vigas formam paredes através do preenchimento dos espaços vazios entre os elementos construtivos, através da aplicação de um revestimento exterior. Este revestimento é concebido por painéis, régua ou telhas de madeira, tornando por sua vez a estrutura global mais rígida e cobrindo-a na totalidade. Estes painéis são geralmente elementos finos que cumprem a função de revestimento.

Para este sistema construtivo são utilizadas tanto espécies de madeira resinosa, como folhosa. No caso das espécies das árvores folhosas estas apresentam uma grande variedade nos seus diâmetros e configurações, por outro lado as árvores de espécie resinosa, crescem mais lentamente e com menor densidade, permitindo a utilização de peças de madeira de menores dimensões, graças à sua maior resistência estrutural.

## CONSTRUÇÃO PILAR + VIGA



**Figura 32 – Sistema construtivo pilar – viga (BRENMAN, 2016, p.3) <sup>3</sup>**



**Figura 33 – Estrutura de madeira Pilar-Viga**  
<http://entechnews.com/a-frame-garage-plans/a-frame-garage-plans-or-a-frame-house-plans-nz-with-a-frame-house-plans-canada-plus-a-frame-garage-plans-with-loft-together-with-a-frame-house-plans-4-bedroom/>

<sup>4</sup> BRENNEMAN, Scott (2016) Structural CLT Floor and Roof Design, Wood Products Council. Disponível em: <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/Structural-CLT-Floor-and-Roof-Construction-WebR.pdf>



**Figura 34 – Estrutura de madeira  
Pilar-Viga**  
<http://grandviewtimbers.com/services/timber-frame-construction/>

A opção de utilização deste sistema construtivo está assente predominantemente em duas situações, nomeadamente a existência e a disponibilidade de produtos industriais normalizados e a necessidade de um sistema construtivo que seja rápido e que responda à carência de habitações.

Obtém-se assim um tipo de construção mais económica, uma vez que as peças com uma geometria simples são normalizadas e certificadas, o que permite o seu intercâmbio, a sua modulação e a pré-fabricação.

No que diz respeito à concepção do projecto de arquitectura, este tipo de construção permite uma grande flexibilidade, tanto no desenho inicial, como em modificações posteriores se assim for necessário. Uma vez que emprega um elevado número de peças é necessário dar especial atenção aos detalhes construtivos, um maior controlo na recepção dos materiais, tal como a sua protecção e armazenamento.

Em Portugal era comum construir com alguma frequência em madeira, nomeadamente através do sistema de pilar viga. No entanto, no início do século XX, com o aparecimento e o destaque que se deu ao uso do betão armado, os sistemas construtivos em madeira quase que desapareceram. Hoje em dia este tipo de sistema construtivo é mais vocacionado para pavilhões, ou situações onde é necessário vencer grandes vãos, no qual se verifica a utilização tanto de espécies resinosas, como de espécies folhosas, o qual adquiriu por sua vez um carácter universal, impulsionando a origem do sistema construtivo aligeirado.

#### 4.2.2. Sistema construtivo Aligeirado



**Figura 35 – Estrutura de madeira  
Aligeirada**  
<https://www.thinkwood.com/products-and-systems/light-frame-construction-building>

Construir-se aplicando o tipo de estrutura de madeira aligeirada, tradicionalmente significava unir peças verticais e horizontais, através de encaixes de carpintaria. No entanto verifica-se que as uniões executadas desta forma enfraqueciam o material nesta zona. No sentido de colmatar esse enfraquecimento aumentava-se forçosamente os elementos construtivos, a uma determinada dimensão, para que estes não entrassem em ruptura. Actualmente esta questão já não tem a mesma importância, porque consegue calcular-se estes factores com o objectivo de antecipar o comportamento destes elementos e assegurar uma maior eficiência no desempenho global da estrutura.

Nos Estados Unidos com a construção recorrente de edifícios de pequena dimensão em madeira, baseados em modelos habitacionais europeus, este problema das uniões entre peças madeira resolve-se com a eliminação de encaixes executados em carpintaria, para posteriormente se começar a utilizar pregos, obtendo-se por sua vez uma redução significativa do custo de produção e montagem da obra.

*A construção em madeira nos EUA, há mais de 30 anos, tornou-se numa indústria tão importante como a do ferro e do betão na Europa, em parte isto deveu-se ao baixo custo da madeira pela sua abundância e facilidade de transformação.*  
(MONTEIRO, 2013, p.25)

Assiste-se ao aparecimento de mais algumas vantagens de se construir em madeira quando se dá a Revolução Industrial. Surgem os pregos, bem como as máquinas de corte movidas a vapor, o que permitiu a standardização dos elementos de madeira. Todo este processo resultou numa redução de custo na produção de elementos de madeira, em entregas de material mais rápidas e mão-de-obra menos especializada.

Através da crescente utilização deste sistema construtivo e da sua constante evolução, os edifícios em madeira transformaram-se rapidamente num produto industrial, mais económico e eficiente, permitindo um melhor uso do espaço, proporcionando uma enorme transformação no sector da construção em madeira.

O sistema aligeirado permitiu a passagem de um conhecimento mais tradicional para uma forma de construir em madeira mais universal, obtendo-se resultados neste tipo de construções mais económicos e eficazes. Tal como já foi referido anteriormente, este sistema tem origem na construção em madeira de pilar e viga, em que numa primeira fase a construção aligeirada tinha como fundamento a ligação de elementos dispostos vertical e horizontalmente, a partir de uniões elaboradas em carpintaria. Para que os elementos que constituíam a estrutura não entrassem em ruptura era atribuída aos mesmos, uma dimensão suficiente, garantido que estes não cediam a esforços e cargas aplicados.



**Figura 36 – Estrutura de madeira Aligeirada**  
<https://www.structuremag.org/?p=11737>

No que diz respeito à construção em madeira em Portugal torna-se relevante mencionar umas das situações mais marcantes deste tipo de construção, que por sua vez está relacionada com o terramoto de grande magnitude, ocorrido a 1 de Novembro de 1755. Esta foi uma catástrofe que causou estragos incalculáveis a todos os níveis. No sentido de evitar passar uma situação semelhante houve a necessidade de conceber um novo modelo de construção, para o desenvolvimento do qual foi opção construir em madeira. Foi por sua vez, a gaiola pombalina, designação deste novo sistema estrutural, que esteve na base da evolução dos sistemas de construção em madeira utilizados em Portugal.

A Gaiola Pombalina derivou de um sistema estrutural em que o objectivo era obter paredes estruturais com menos consumo de material, ou seja menos peso próprio, e menos energia. Com a preocupação de evitar futuras catástrofes surge a construção com recurso à Gaiola Pombalina, estrutura essa que apresentava uma grande resistência sísmica. Era constituída por prumos, travessanhos e cruzetas, que depois de montados e concebida, toda a estrutura era feito o preenchimento dos espaços vazios entre os vários elementos construtivos com alvenaria de pedra e tijolo. Desta forma, garantia-se que no caso de ocorrer outro sismo, independentemente da sua magnitude, a estrutura de madeira teria a capacidade de resistir ao terramoto, sem entrar em ruptura, permitindo que a alvenaria se soltasse da restante estrutura.

#### 4.2.3. Sistema construtivo Maciço

##### CONSTRUÇÃO COM PAINÉIS MACIÇOS



**Figura 37 - Sistema construtivo maciço em madeira** (BRENEMAN, 2016, p.3) <sup>4</sup>

As construções concebidas através do sistema maciço recorrem, na sua maioria, a dois tipos de soluções: o sistema de toros de madeira maciça e o sistema de painéis maciços de madeira lamelada.

Esta técnica incentivou a construção em madeira na arquitectura, tornando-se um sistema construtivo muito utilizado no mundo nos dias de hoje, recorrendo predominantemente a espécies resinosas. Verifica-se portanto, um aumento no número de materiais construtivos feitos com camadas de madeira, tornando-se competitivos economicamente e amigos do ambiente e ainda o sistema construtivo mais utilizado na Europa para a construção de habitações unifamiliares.

<sup>4</sup> BRENEMAN, Scott (2016) Structural CLT Floor and Roof Design, Wood Products Council. Disponível em: <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/Structural-CLT-Floor-and-Roof-Construction-WebR.pdf>

As estruturas maciças constituem um sistema universal, presente ao longo de toda a história da arquitectura, em vários países. São o tipo de estrutura que nasce para dar resposta à necessidade do homem conseguir obter a excelência na procura de construções maiores, originais e singulares. As empresas que comercializam e fabricam este tipo de estruturas provêm de lugares onde existem florestas de árvores coníferas, isto porque para a construção de madeira maciça em toros é preciso madeira que forneça esses mesmos toros apurados e longos. Este sistema construtivo torna-se assim um tipo de construção durável, aplicado em edifícios antigos, com muitos anos de existência, que encerra em si muita tradição, em que o conhecimento do seu saber fazer passa de geração em geração, com a vantagem de se adaptar às novas necessidades e evolução da tecnologia.

Quando o homem se apercebe das reais propriedades da madeira e do seu potencial enquanto material resistente, coloca as peças de madeira a trabalhar ao longo da direcção paralela às fibras, obtendo-se assim um sistema inovador, que por sua vez permite aberturas maiores e edifícios até seis andares. No entanto, a partir do século XIX verifica-se que este sistema construtivo é substituído em alguns países por estruturas em betão armado.



**Figura 38 - Construção de madeira maciça**  
<https://www.novatop-system.cz/en/products-2/15168-2/>

Através da evolução verificada neste tipo de sistema construtivo maciço, assistiu-se a uma alteração da secção dos toros utilizados, conseguindo-se um aumento da superfície de apoio, presente na fundação do edifício, o que por conseguinte garante maior estabilidade para a estrutura global do edifício.





**Figura 39 - Construção de madeira maciça**  
<https://www.novatop-system.cz/en/products-2/15168-2/>

Neste sistema construtivo é de facto necessário mais matéria-prima e as paredes desempenham um papel autoportante, uma vez que é feita uma sobreposição de toros em cima uns dos outros, garantindo-se a sua estabilidade através de samblagem entre esses toros de paredes, perpendiculares entre si.

Esta sobreposição permite que sejam produzidas peças de madeira com qualquer altura pretendida, no entanto existe um factor que é condicionante a este fabrico, que se trata do transporte destas peças, uma vez que o veículo que faz o transporte destes elementos construtivos tem uma dimensão limitada, então terá de se ter conta esta situação. Os painéis de madeira laminada consistem em tábuas ou lâminas que podem ser fabricadas desde os 60mm de espessura, formando elementos portantes superficiais para constituírem paredes, em que o conjunto de vários painéis aplicados para formar essa parede acabam por funcionar como uma peça só. São painéis fabricados de uma forma totalmente automatizada, em que a sua produção não está limitada por nenhuma modulação projectual. Neste sistema construtivo as paredes são fabricadas piso a piso para criar apoio para o pavimento e para a cobertura.



**Figura 40 - Construção de madeira maciça**  
<https://www.novatop-system.cz/en/products-2/15168-2/>

A laje do piso térreo de edifícios que utilizam este sistema construtivo é geralmente executada em betão armado, com o objectivo de evitar o contacto da madeira com o terreno e a humidade inerente ao mesmo. Desta forma garante-se uma maior durabilidade de todos os elementos construtivos, potenciando-se a sua utilização e função estrutural. Uma vez que são elementos pré-fabricados, as lajes dos restantes pisos são elementos construtivos com um funcionamento unidireccional, que pode também ser utilizada para adicionar pisos a outro tipo de estruturas já existentes, nomeadamente estruturas metálicas ou de betão armado, uma vez que se torna numa solução estável e rígida com peso próprio relativamente baixo, principalmente quando comparada com estruturas concebidas com os materiais anteriormente mencionados. Por outro lado, esta é uma solução que não implica que a madeira esteja à vista, ou seja, pode inclusivamente ser alvo de vários tipos de revestimentos.

A opção de utilizar painéis de madeira maciços torna-se viável, uma vez que estes têm um bom desempenho estrutural, garantindo também uma resposta bastante satisfatória às exigências de habitabilidade, segurança, bem-estar, conforto, como também no que diz respeito aos gastos energéticos, que por sua vez são comprovadamente baixos.

Inicialmente era um sistema mais artesanal e complexo, em que as peças eram cortadas in situ, no entanto actualmente tornou-se muito mais competitivo e simples, graças à evolução no campo da industrialização e da pré-fabricação, obtendo-se peças desmontáveis e transportáveis, podendo ser montadas num lugar diferente de onde são pré-fabricadas, graças à sua catalogação.

A estabilidade estrutural deste sistema construtivo é garantida através da samblagem entre os toros de paredes perpendiculares entre si e para a execução de edifícios com este sistema construtivo é necessário rigor na sua montagem, tal como qualificação e experiência por parte da mão-de-obra, devido às características deste tipo de construção.

A viabilidade da utilização deste tipo de material está associada a vários factores, nomeadamente à disponibilidade da matéria-prima, como também ao seu custo de extracção, de produção e ao seu transporte, sendo estas algumas das razões que fazem com que se construa com mais regularidade neste tipo de sistema construtivo em países com maior coberto florestal, como a Áustria, Estados Unidos.

Construir com painéis de madeira maciços permite uma maior exposição estética da madeira, o que pode tornar-se agradável, porque este é o tipo de material que nos transmite conforto visual e térmico. Esta situação acaba por ser possível, uma vez que o tipo de sistema construtivo, tal como a própria madeira, dispensam qualquer tipo de revestimento. Consoante o valor estético deste recurso natural, a espécie da madeira utilizada e o seu tratamento aplicado (se for o caso), está de alguma forma a enaltecer-se o seu carácter rústico.

O seu comportamento acústico e térmico são comprovadamente eficientes, uma vez que este sistema construtivo é utilizado em vários países nórdicos, onde se fazem sentir temperaturas muito baixas. Estas são características que dependem da espessura, das camadas que se obtém das peças de madeira, em que quanto maior a espessura do elemento construtivo, melhor o seu desempenho térmico e acústico.

No sentido de se verificar uma diminuição da quantidade de humidade presente no interior do edifício associada à capacidade de retenção de humidade da própria madeira, tal como a diminuição da exposição directa à água por parte de qualquer elemento construtivo, é muito importante garantir-se uma boa ventilação.

Quando a opção de construir em madeira é através da utilização do sistema de construção maciço é importante ter presente que este é um sistema com limitações no que diz respeito ao aproveitamento das suas capacidades mecânicas. Sabe-se que a madeira possui 20 a 30 vezes maior capacidade de resistência a cargas aplicadas paralelamente às suas fibras, o que é o caso ao utilizar-se os painéis maciços, porque estes transportam as cargas no sentido longitudinal das suas fibras. Assim sendo, torna-se apenas necessário garantir que a espessura dos elementos das paredes é suficiente para que estas não entrem em ruptura consoante as cargas aplicadas.

Por outro lado, ao optar por construir com painéis de madeira maciços verifica-se um aumento do peso do próprio edifício, devido à dimensão dos seus elementos construtivos e dos reforços estruturais aplicados na construção global, logo será importante verificar uma boa distribuição destes mesmos elementos na globalidade do edifício. Por sua vez, a boa distribuição do peso dos elementos estruturais evita a dimensão e o número de fendas, que podem surgir, associadas ao processo de retracção e expansão da própria madeira, graças à sua capacidade de reter humidade.

É no tipo de construção maciça que se assiste a mais alterações das propriedades físicas e mecânicas da madeira e consequentemente, de todo o sistema estrutural, o que por sua vez afecta a sua estabilidade estrutural, que neste caso se torna mais adequada e resistente, porque ao fabricar este tipo de peças provenientes de madeira, elimina-se os defeitos deste recuso natural, como fendas e nós, tirando-se o melhor partido possível das propriedades mecânicas destes elementos construtivos.

Actualmente construir através do sistema construtivo com painéis maciços tem inúmeras vantagens, principalmente porque os elementos construtivos deste sistema resultam de uma pré-fabricação. Este processo de produção encerra em si vários benefícios, nomeadamente a definição antecipada do que vai ser feito já no local da obra, uma vez que as peças são cortadas à medida e consoante o projecto de arquitectura.

Outra das grandes vantagens é a diminuição significativa dos resíduos consequentes de uma obra, isto porque se as peças que constituem o edifício são cortadas à medida e na quantidade necessária, quer dizer que não vamos estar perante tanta quantidade de desperdício e de entulho.

A construção em madeira recorrendo a painéis maciços, possibilita a standartização de toda a construção em madeira e a produção em série de todos os painéis necessários para a obra, porque todos os elementos que constituem o edifício são pré-fabricados, cortados e produzidos em função do projecto concebido. No que diz respeito ao tipo de casas concebidas neste sistema construtivo, estas podem surgir na forma de kit, previamente pré-fabricadas. Desta forma, construir-se recorrendo a painéis de madeira maciços é por exemplo, uma das possíveis e viáveis opções em caso de catástrofes naturais, ou então em situações de crescimento demográfico demasiado rápido, graças à sua resistência enquanto sistema estrutural e por ser possível a montagem deste tipo de edifícios de uma forma rápida e eficaz.

#### **4.2.3.1. Introdução da madeira maciça no mercado da construção**

Com a alteração que se verificou ao nível da regulamentação e consequentemente com a aplicação da madeira ao nível do sector da construção com maior frequência, sente-se uma maior necessidade em adquirir mais e novos conhecimentos nesta área, bem como novas técnicas de construção, onde é utilizada a madeira como principal material de construção. Desta forma obtém-se uma gradual adaptação às novas formas de aplicação da madeira no edificado, nomeadamente no que diz respeito aos novos sistemas construtivos associados a este tipo de material, verificando-se ainda uma evolução em edifícios com vários andares. Até que a madeira fosse um material possível de ser aplicado em edifícios com mais de dois andares, não se verificava uma standartização ao nível da produção de elementos construtivos com este recurso, ao contrário do que já acontecia no caso do betão e do aço.

No caso do sector da construção que recorre à madeira maciça, este tem sido procurado sob um ponto de vista maioritariamente técnico, sobre o qual inclusivamente se têm realizado várias pesquisas, estudos orientados, bem como projectos experimentais em diferentes lugares da Europa, como na Alemanha, Áustria ou Suíça, com o intuito de evoluir precisamente ao nível técnico.

Esta técnica de construção com recurso à madeira maciça tem-se destacado em diferentes projectos, nomeadamente devido a uma abordagem patente com uma vertente ecológica e com ideias de reutilização associadas, por parte das comunidades e dos fabricantes que optam por este tipo de construção.

No entanto, no sector da construção com recurso à madeira como elemento estrutural é necessário um maior desenvolvimento a vários níveis, desde a utilização da própria madeira enquanto material construtivo, à sua aplicação na construção em geral, com o intuito de desenvolver novos tipos de estruturas.

Porém, inicialmente quando novas técnicas construtivas são implementadas, ou até mesmo quando novos materiais construtivos são introduzidos no mercado, verifica-se que o seu valor inicial é mais elevado. No entanto à medida que a sua produção é mais eficaz e frequente e com a sua aplicação no local da obra, através da qual se adquire experiência ao nível da construção e da aplicação dos materiais, originada pela exigência da execução do projecto, verifica-se por outro lado uma diminuição do preço dos materiais. Assim sendo, as questões económicas tornam-se uma das razões pelas quais se assiste a um processo lento de implementação de novas técnicas construtivas, até que as mesmas se tornem mais comuns no mercado.

Por outro lado, quando se assiste à adopção de determinado sistema construtivo, a mesma está relacionada com as vantagens que se obtém com a sua utilização, nomeadamente o facto de ser mais simples de se executar. Desta forma, esta é uma característica que torna a utilização de madeira maciça atractiva no mercado da construção, bem como a sua eficácia na sua aplicação.

Ou seja, na construção com madeira maciça assiste-se a um aumento de elementos construtivos e materiais standartizados, o que por sua vez se traduz em ganhos económicos, bem como em ganhos no que diz respeito ao tempo de construção e execução do projecto, tanto para o ramo da indústria, bem como para a sociedade que opta por este tipo de soluções e ainda para o meio ambiente.

Significa portanto, que as empresas encarregues da produção deste tipo de produtos em madeira não investem, nem comercializam os mesmos numa fase inicial, sem ter algumas garantias da sua viabilidade, bem como sem que anteriormente tenham sido feitos alguns testes, no sentido de verificar a sua capacidade e qualidade ao nível da construção.

Assim sendo, o esforço necessário no sentido de se adoptar por uma construção mais ecológica e sustentável não pode ser uma iniciativa apenas dos investidores, mas sim de todos os intervenientes do sector da construção, inclusivamente os proprietários.

Como tal, torna-se importante criar uma coordenação coesa entre todos esses intervenientes, no sentido de desenvolver todos os aspectos relevantes para garantir uma construção mais estável e consciente. Neste sentido várias iniciativas ao nível governamental têm sido solicitadas com o objectivo de se elaborar estratégias a longo prazo, para garantir-se um bom desenvolvimento ao nível do futuro da construção.

Significa portanto, que o processo de produção ao nível da construção de edifícios é algo complexo, que por sua vez depende da relação entre o fabricante e o cliente final, como tal essa é uma relação que não pode ser optimizada e relativizada de forma linear, quando comparada com a pré-fabricação de outro tipo de produtos. Verifica-se ao nível da construção uma dificuldade presente neste sector, relacionada com a formação de condições previamente estabelecidas paralelas à solução final que se pretende, nomeadamente durante a fase de projecto, que muitas das vezes acontece prolongar-se para a fase de construção, devido à falta de informação.

No caso específico da madeira, uma vez que esta é considerada um recurso renovável é possível extrair-se e utilizar-se mais madeira ao nível da construção. Como tal, para se promover cada vez mais a utilização da madeira no mercado da construção, nomeadamente em apartamentos, edifícios públicos, pequenas pontes, a estratégia a utilizar para que tal aconteça passa por todo um processo educacional, de pesquisa e de desenvolvimento dos sistemas construtivos que derivam deste material, que se torna necessário implementar a vários níveis. O grande desafio que se coloca para reverter um pouco esta situação, o facto de construir-se pouco em madeira, assumindo que se trata de um tipo de construção segura e confortável, é através da educação, ou do facto de se informar o público em geral, nomeadamente os proprietários de edifícios, artesãos, arquitectos, construtores sobre os benefícios de se optar por utilizar a madeira.

Se se verificar uma maior utilização de madeira ao nível da construção, significa também que haverá uma maior necessidade de plantar árvores, para que possa ser feita a sua extracção em quantidade suficiente.

Assim sendo, esta é uma situação que se pode considerar benéfica em vários níveis, nomeadamente no sector económico e financeiro, através do investimento, de mais desenvolvimento e mais estudos para a criação de nova tecnologia e técnicas de trabalho com a utilização da madeira, como também outros estudos sobre o comportamento da mesma.

Podemos ainda verificar vantagens a nível ambiental, uma vez que quantas mais árvores forem plantadas, mais quantidade de CO<sub>2</sub> será possível de acumular nas mesmas, retirando-se alguma quantidade deste gás da atmosfera.

Em países como a Suécia existe a tradição de utilizar a madeira com vários propósitos, uma vez que a madeira é um material constantemente disponível e economicamente acessível, fácil de trabalhar e consequentemente fácil de lhe atribuir formas quando existe conhecimento das técnicas adequadas. Esta é uma situação que se tem verificado ao longo da história, atendendo ao facto de o homem sempre ter utilizado materiais que estivessem disponíveis em lugares próximos do seu habitat. No caso concreto da Suécia, este é um país que tem abundância florestal, através da qual se torna fácil e acessível a extracção da madeira, com o objectivo de ser tratada e de adquirir determinadas formas com ferramentas que têm variado ao longo do tempo, ou seja, têm vindo a evoluir à medida que têm acompanhado a evolução e desenvolvimento tecnológico.

Durante o século XIX a indústria fazia grandes progressos, o que fez com que o betão e o aço se tornassem nos materiais mais requisitados pelo mercado da construção. Por outro lado, no que dizia respeito à construção em madeira, acreditava-se que os edifícios construídos recorrendo a este material não seriam casas verdadeiras, mas sim edifícios construtivamente simples, sem grande valor arquitectónico. E ainda, com o movimento Modernista na Europa, verifica-se que existe preferência por parte do utilizador, pela construção de edifícios com paredes feitas em betão ou de tijolo, uma vez que estas eram escolhas que estavam associadas a questões simbólicas, nomeadamente ao facto de se acreditar num estilo de vida mais limpo e saudável.

*The modernist movement appearing in the 1920's preferred plastered walls of concrete or masonry for symbolic reasons to attribute and promote a clean and healthy way of living.*  
(FALK, 2005, p.30)

Na década de 1990 regista-se no sector da construção em madeira um maior desenvolvimento ao nível do mercado de construção, na medida em que várias empresas produtoras de produtos de madeira demonstram cada vez mais interesse em desenvolver novos produtos, bem como um aumento da produção e maior conhecimento sobre o processo.

Por outro lado, no norte da Europa o interesse pela madeira enquanto material estrutural também voltou a despertar a vontade de realizar experiências arquitectónicas, através da introdução de novas versões de antigas técnicas que utilizavam a madeira como principal material construtivo. A necessidade de realização de estudos arquitectónicos está relacionada não só com as técnicas utilizadas em madeira maciça, mas também com a construção em madeira de hoje em dia, nomeadamente as construções em grande escala. A partir do momento em que surgem novas técnicas, novos produtos e novos contextos torna-se necessário conceber também novos designs para atender tanto às necessidades antigas, como às actuais. Por outro lado, o desenvolvimento do ambiente construído alterou-se ao longo do tempo, o que por sua vez originou novas exigências ao nível do design funcional e estético.



Verifica-se assim que ao longo da história os vários métodos e técnicas ao nível da construção mudaram, bem como as características, propriedades e aparência dos próprios materiais. Através da escolha dos materiais a aplicar na construção torna-se possível decidir o que é que se pode alcançar, no entanto esses limites podem ser contornados através da tecnologia, o que permite aumentar as possibilidades relativas à construção. No que diz respeito especificamente à madeira, com o desenvolvimento dos seus produtos e de novas técnicas de construção é possível atingir novas possibilidades, o que por sua vez altera os requisitos da utilização da madeira enquanto material estrutural. Significa portanto que novos produtos são possíveis de utilizar em novos projectos com resultados visuais diferentes.

#### 4.3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS QUE DERIVAM DA MADEIRA MACIÇA

A construção que recorre a elementos construtivos feitos a partir de *massive timber*, que por sua vez significa madeira maciça, são produtos que são produzidos em forma de placa, com funções estruturais. Alguns desses elementos construtivos mais relevantes que recorrem à madeira maciça como principal material construtivo são os painéis de *Nail Laminated Timber* (NLT), *Dowel Laminated Timber* (DLT), *Cross Laminated Timber* (CLT).

Constituídos por sua vez, por painéis de madeira maciça, todos eles pré-fabricados são montados de formas diferentes, proporcionando diferentes utilizações, consoante o tipo de construção que se pretende e as circunstâncias em que se insere o projecto de arquitectura em causa.

Ainda durante a fase da concepção do projecto, é tomada a decisão de qual produto a ser utilizado em função das suas características estruturais e funcionais que melhor se adaptam ao tipo de estrutura que será concebida.



Figura 41 – Produtos que derivam de madeira maciça

<http://blog.perkinswill.com/mass-timber-a-primer-and-top-5/>

#### 4.3.1. NLT: Nail Laminated Timber

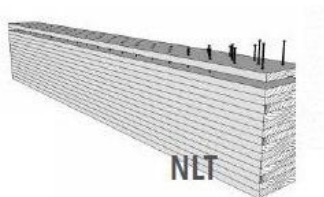


Figura 42 - Elemento de *Nail Laminated Timber*



Figura 43 – Peça de madeira de NLT  
<https://www.structuremag.org/?p=10916>

Os produtos derivados de madeira *Nailed Laminated Timber* (NLT) decorrem de um processo de construção que já existe há algum tempo. Os produtos NLT adquirem a sua resistência estrutural e durabilidade através dos pregos que são utilizados para prender os vários componentes individuais de madeira que os constituem. Os elementos construtivos NLT podem ser aplicados em diversas situações construtivas, nomeadamente em lajes de pisos, coberturas, como também na concepção de poços de elevadores e em caixas de escadas. Uma vez que a aparência do NLT é bastante atraente este é um tipo de material que tem potencial para ser aplicado com a madeira à vista. No entanto, atendendo à forma como é feita a junção das várias camadas de madeira que formam este tipo de painéis, nomeadamente através de pregos, este é o tipo de elementos que impossibilita a alteração do painel em obra.

*NLT gets its strength and durability from the nails that fasten individual dimensional lumber, stacked on edge into a single structural element. (Structural wood building systems, Think Wood, p.3)*



Figura 44 – Edifício com painéis *Nail Laminated Timber*  
<https://www.detail.de/artikel/holzskelett-xxl-buerogebaeude-t3-in-minneapolis-30899/>

#### 4.3.2. DLT: Dowel Laminated Timber

Os produtos *Doweled Laminated Timber*, DLT são semelhantes aos NLT, no entanto em vez de utilizarem pregos para prender os vários componentes que os constituem, utilizam cavilhas de madeira para unir as suas lâminas. Para formar os painéis de DLT, as placas que os constituem são empilhadas, com as fibras de cada lâmina de madeira colocadas paralelamente ao comprimento desse mesmo elemento e são posteriormente ajustadas por fricção juntamente com as cavilhas de madeira. É o ajuste por fricção que confere aos painéis a estabilidade dimensional necessária ao seu bom funcionamento estrutural. Por outro lado podem ser introduzidos tarugos na diagonal, com o objectivo de oferecer resistência adicional aos painéis. São portanto painéis que garantem flexibilidade arquitectónica, adequados para a aplicação em grandes vãos horizontais, nomeadamente quando utilizados em pisos e coberturas.

As estruturas de madeira maciça são 30% mais leves do que o equivalente em aço e 60% mais leves do que o betão, o que significa que o projecto de arquitectura quando executado com uma estrutura de madeira, beneficia de uma menor exigência ao nível das fundações e também no que diz respeito à aplicação de cargas sísmicas, uma vez que as estruturas de madeira por um lado são mais leves e por outro lado são mais elásticas.

*Mass timber structures are 30 percent lighter than steel equivalent and 60 percent lighter than post-tensioned concrete so the project benefits from a smaller Foundation requirement and lower seismic loads. (Structural wood building systems, Think Wood, p.5)*

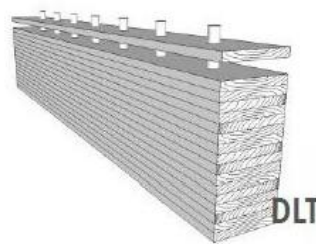


Figura 45 – Elemento de Dowel Laminated Timber

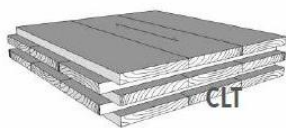


Figura 46 – Painel DLT  
<https://continuingeducation.bnpmedia.com/courses/think-wood/mass-timber-in-north-america/3/>



Figura 47 – Peça Dowel Laminated Timber  
<https://twitter.com/seagatestruct>

#### 4.3.3. CLT: Cross Laminated Timber



**Figura 48 – Elemento de Cross Laminated Timber**

Os painéis de CLT são produtos lamelados cruzados, que por sua vez traduzem-se em painéis com camadas aplainadas em todos os lados, sobrepostas nas duas direcções perpendiculares entre si e coladas. Por sua vez, este tipo de painéis consiste na colagem de várias camadas de tábuas, processo esse efectuado ainda em contexto de fábrica. No caso dos painéis de CLT são coladas sucessivas camadas dispostas ortogonalmente entre si. Esta configuração cruzada das lamelas de madeira traduz-se numa vantagem presente neste sistema construtivo, que permite atingir capacidades de resistência e rigidez mais elevadas.



**Figura 49 – Constituição de painéis de CLT**

<http://www.reidmiddleton.com/reid-urblog/timber-construction-using-clt/>

Este tipo de painéis de madeira são concebidos segundo diversas camadas por uma questão de optimização e melhor desempenho da estrutura, com o objectivo de sensibilizar o produto final para as falhas que existem quando os painéis são formados apenas por uma camada individual.

Neste caso, em que são utilizados os painéis de CLT ao nível da construção de edifícios de habitação faz sentido aplicar este tipo de elementos estruturais enquanto paredes, uma vez que é possível a abertura de vãos nos mesmos. Como neste caso, este tipo de placas são coladas umas nas outras, sem elementos físicos de ligação entre as mesmas, como buchas ou pregos, essa torna-se uma situação viável. Essa viabilidade está não só relacionada com a possibilidade física de abertura de vãos, como também se trata do facto de não se colocar em causa a estabilidade e resistência estrutural dos próprios painéis.



**Figura 50 – Painel de Cross Laminated Timber**

<https://www.finnlog.ee/fin/tietoa-clt-talosta/clt-levyn-polyuretaani-liimaliitos/>

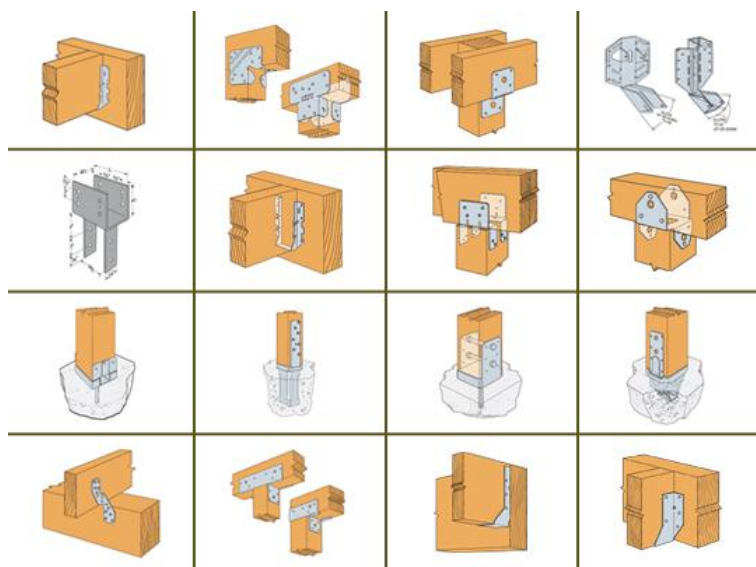
Este é um método construtivo que permite infinitas soluções ao nível do projecto arquitectónico, nomeadamente a criação de estruturas atraentes e contemporâneas, com vãos amplos e iluminados, verificando-se que ao optar pela construção recorrendo aos painéis em CLT, a alvenaria convencional passa a ser uma segunda opção.

#### 4.4. UNIÕES EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

As uniões presentes nas estruturas de madeira são uma parte do seu processo que representam uma percentagem considerável do custo total da estrutura global. As ligações entre os vários elementos construtivos são o ponto crucial no desenho deste tipo de estruturas, podendo considerar-se as uniões coladas, as uniões mecânicas e as samblagens ou entalhes.

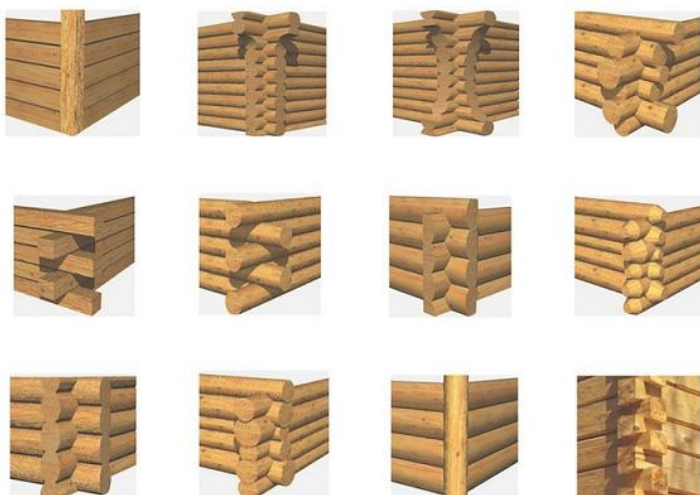
A eficiência da concepção de uma estrutura de madeira está também relacionada com a eficiência das ligações adoptadas entre as várias peças de madeira. Em estruturas com maiores dimensões e mais complexas é necessário conhecimento para a concretização das ligações entre os vários elementos estruturais, tomando a opção de utilizar determinado tipo de ligação consoante o tipo de carga aplicada e consequentemente consoante o esforço a que a estrutura estará sujeita.

Atendendo às características da madeira enquanto material construtivo é importante ter em conta que as ligações dos elementos estruturais acabam por ser um ponto crítico na durabilidade dessas mesmas estruturas, devido à retracção e à dilatação a que os vários elementos construtivos estarão sujeitos ao longo do seu tempo de vida útil. Estes fenómenos estão por sua vez relacionados com a resposta dada pela madeira ao aumento ou à diminuição de humidade presente no meio envolvente. Desta forma, o teor de humidade presente é um factor que tem influência no cuidado do detalhe ao nível das ligações entre as várias peças, assim como a possibilidade de ataques biológicos e a protecção destes elementos de ligação metálicos contra a possível corrosão e ainda contra o fogo.



**Figura 51 – Ligações metálicas entre elementos de madeira**  
<http://www.pinecross.com/products.php?language=en&subpage=08>

Um elemento de ligação entre elementos de madeira é um dispositivo que transfere as cargas de um determinado elemento construtivo para o outro. Diversos tipos de ligação transferem as forças através de compressão na madeira, o que significa que a escolha do tipo de conector depende do espaço disponível para a ligação, assim como a componente estética.



**Figura 52 - Exemplos de entalhes**

<http://americanlogandlumber.com/images/Log-Corner-Styles.png>

#### 4.4.1. Tipos de ligações



**Figura 53 – Ligação metálica entre elementos de madeira**

<http://eurocode5.ru/foto-sherpa>

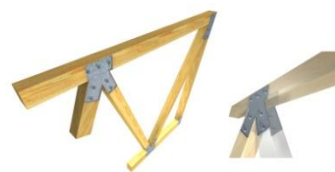
As ligações coladas apesar da sua aplicabilidade limitada conferem grande rigidez a toda a estrutura do edifício, permitindo uniões entre peças totalmente rígidas.

No caso das uniões mecânicas, estas estão incluídas em todos os sistemas de uniões metálicas. Nesta situação quanto menos peças metálicas existirem e mais simples for essa ligação, melhor será o desempenho da ligação entre os elementos estruturais de madeira. Através deste tipo de ligações garante-se à estrutura global do edifício maior estabilidade e resistência mecânica. As uniões mecânicas mais comuns são os pregos, cavilhas e parafusos, em que as cavilhas são geralmente elementos de fixação metálicos, com natureza mecânica, que por sua vez transportam cargas através de tensões de esmagamento, localizadas sobre a madeira, na maioria das vezes sujeitos a esforços de flexão e de corte.

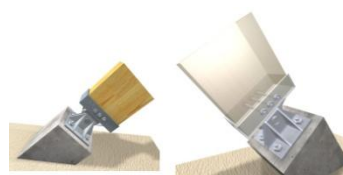


Por sua vez, os entalhes são encaixes de vários tipos concretizados directamente nos elementos de madeira a unir. São encaixes esculpidos e gravados directamente nos elementos de madeira, que pressupõem um encaixe bem executado entre as várias peças de madeira, para um correcto funcionamento e desempenho da ligação entre alguns dos elementos, bem como da estrutura global do edifício. Consiste numa técnica mais tradicional, que acaba por se utilizar cada vez menos, consequência da falta de artesãos qualificados e competentes para o trabalho, como também pelo aumento de custo de obra que esse trabalho manual implica. No entanto, por se verificar serem ligações tão eficazes, actualmente está a voltar a utilizar-se este tipo de união, porém através da utilização de programas informáticos e maquinaria de precisão, ao invés do trabalho realizado por artesãos. A grande vantagem desta técnica de ligação entre elementos construtivos de madeira permite uma maior limpeza e pureza do conjunto edificado.

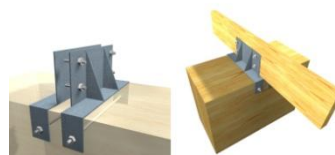
Ao optar-se por um grau de pré-fabricação cada vez mais elevado faz com que as juntas entre os diferentes elementos construtivos se tornem uma preocupação cada vez maior. As conexões entre os vários elementos estruturais e construtivos devem ser estudadas e desenvolvidas sendo parte de um sistema global. No caso específico da construção em madeira, as juntas são decisivas para o comportamento e a capacidade de transporte de cargas da estrutura global do edifício. Geralmente, as estruturas de madeira são constituídas por várias partes, no entanto no caso por exemplo do aço, este é um material que pode ser moldado, o betão também pode ser moldado, mas no caso das estruturas de madeira, estas têm de ser cortadas e munidas de acessórios adicionais e concebidos noutro tipo de materiais.



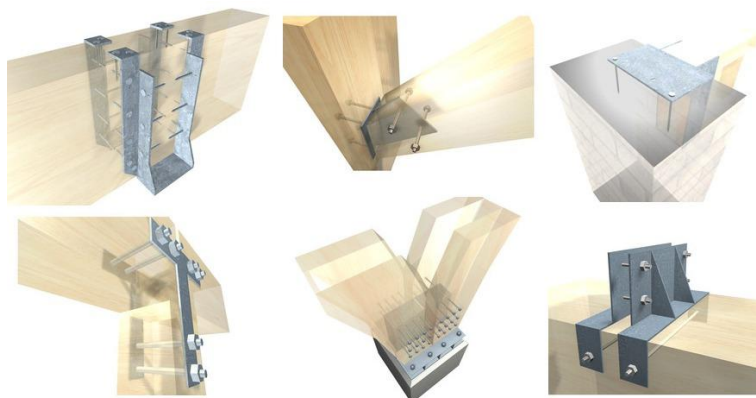
**Figura 55 – União escora**  
<https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauc>



**Figura 56 – União articulada**  
<https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauc>

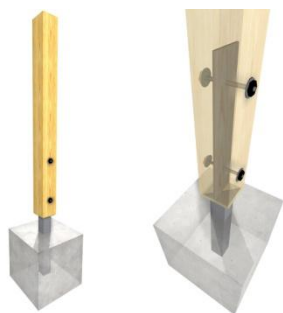


**Figura 54 – União metálica entre elementos de madeira**  
<https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauc>



**Figura 57 – Uniões metálicas entre peças de madeira**  
<https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauc/5819fc75e58eceeef60002fd-15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauc>



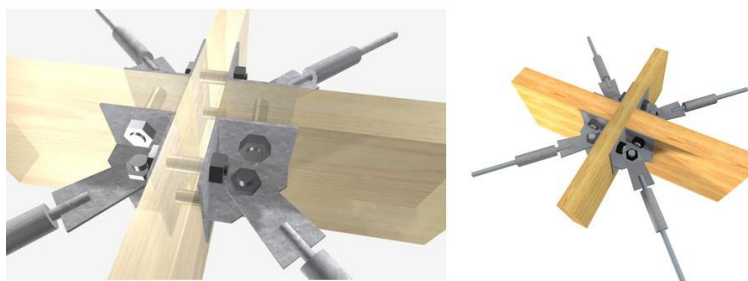


**Figura 58 – Ligações metálicas para pilares**

<https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco/58078e0be58ece3c66000019-15-metal-fittings-for-connecting-laminated-wooden-structures-m90-for-90-mm-pillars>

As uniões entre elementos de madeira têm a vantagem de poderem ser concretizados de várias formas, uma vez que a madeira é facilmente trabalhada. Desta forma, o estudo do design geral do edifício torna-se um aspecto com grande importância.

A relação entre o dimensionamento dos vários elementos de madeira e as suas ligações prende-se principalmente com o facto de se optar pelo maior elemento possível com o objectivo de minimizar o número de ligações necessárias. As ligações entre os vários elementos de madeira tornam-se assim uma questão relevante na medida em que estas são um pormenor construtivo mais dispendioso e também pelo facto de constituírem zonas construtivas mais sensíveis ao nível estrutural.



**Figura 59 – Ligação metálica placa portante**

<https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco/5813523ce58ece967800025c-15-metal-fittings-for-connecting-laminated-wooden-structures-support-plate>

#### 4.4.2. Durabilidade das uniões entre elementos de madeira

A durabilidade dos elementos de ligação está relacionada com o ataque biológico a que os elementos construtivos de madeira estão sujeitos. Se houver condições para o seu desenvolvimento os fungos podem ser responsáveis pela destruição da estrutura anatómica das peças de madeira, isto porque as extremidades dos elementos estruturais de madeira são os locais mais susceptíveis de variação do teor de humidade, sendo este o local onde se inicia este ataque biológico.

No que diz respeito aos detalhes dos elementos de ligação entre as peças de madeira devem ter-se em consideração vários aspectos para garantir o seu bom funcionamento estrutural, bem como a sua durabilidade. Como tal deve evitar-se acumulação de água nestas ligações, através de uma correcta drenagem e uma eficaz ventilação, principalmente nas extremidades dos elementos construtivos.

Por outro lado, não devem ficar expostos os elementos de madeira ao exterior, principalmente quando não estão devidamente protegidos com os correctos tratamentos aplicados. Por fim, deve evitar-se colocar peças de madeira em contacto directo com betão armado, isto porque como a madeira é um material higroscópico significa que vai absorver a possível humidade que se deposita em materiais como o betão. Como tal, deverá ser assegurado um espaçamento entre estes dois materiais, no entanto se esta situação desejável não for possível será opção colocar-se uma chapa metálica entre os dois, em que por sua vez este elemento terá como função a criação de uma barreira para a existência de água. No caso em que a água consegue chegar às perfurações criadas pelos parafusos é importante tratar a madeira através de materiais isolantes.

Assim sendo, as ligações entre os vários elementos de madeira devem ser projectadas tendo também em conta a capacidade das mesmas de transferir cargas, mas também com especial atenção à sua capacidade de resistência ao fogo.

Por outro lado, quando se trata de conceber as ligações deve ter-se também especial atenção à manutenção das mesmas, uma vez que quando for necessário fazer a sua conservação ou até mesmo a sua substituição não deverá ser permitido estragar-se um elemento de madeira.

#### **4.5. REVESTIMENTOS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA**

Mesmo depois de cortada, a madeira é um material que sofre constantes transformações, havendo inúmeros adeptos em manter as suas características naturais à vista, uma vez que a madeira representa calor e conforto, características que podem ser determinantes, como também interessantes num projecto de arquitectura e que por sua vez conseguem perdurar no tempo graças a novas técnicas de produção, construção e manutenção deste material.

As mais antigas aplicações da madeira como material de revestimento são visíveis principalmente em situações de pavimentos e coberturas. Desde sempre que a madeira é um material com uma qualidade óptima para servir de revestimento, ou de pavimento, conferindo por sua vez, uma excelente qualidade técnica e de aspecto visual aos edifícios. No caso de a madeira servir de pavimento, está disponível actualmente, um leque muito variado de soluções construtivas para alcançar este efeito.

Por sua vez os revestimentos em madeira podem ser aplicados em diversas situações, nomeadamente em fachadas. Geralmente este revestimento pode ser aplicado de várias formas, desde aparafusado, pregado ou assente numa estrutura.

Com o aparecimento dos painéis maciços melhorou-se a aplicação deste tipo de revestimentos pelo interior, porque passou a ser possível cobrir mais área de revestimento em menos tempo e, consequentemente com menos esforço, do que se tivesse que ser colocado tabua a tabua, quando os painéis ficam expostos.

#### 4.6. INDUSTRIALIZAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS E A SUA PRÉ-FABRICAÇÃO

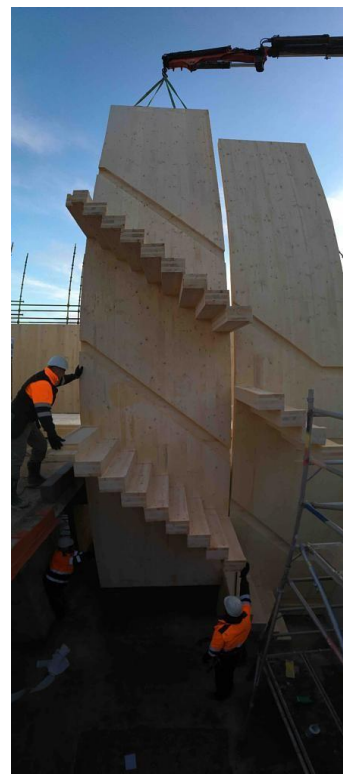
A pré-fabricação é um processo construtivo que está a ganhar cada vez mais importância nos dias de hoje, uma vez que se assiste por exemplo à redução do número de horas que um operário precisa de desempenhar a sua função, traduzindo-se também em soluções construtivas repetitivas, uniformes e com detalhes que podem ser menos ou mais trabalhados, logo menos ou mais dispendiosos.

Por sua vez, a pré-fabricação ou a produção em série são métodos utilizados, que permitem o desenvolvimento de meios e novas técnicas de construção e que surgem no seguimento de acontecimentos como a Revolução Industrial, que por sua vez permitiu uma uniformização da produção, um controlo da quantidade de modelos produzidos, bem como a homogeneidade do dimensionamento dos elementos construtivos, através da standardização dos objectivos produzidos.

A pré-fabricação trata-se de um sistema de construção de um determinado conjunto com elementos standartizados, fabricados antecipadamente e reunidos segundo um plano estabelecido, com o objectivo de alcançar um ambiente construído mais sustentável e ecológico, por forma a garantir também um enriquecimento do valor do edifício final construído.

A pré-fabricação considera-se assim um sistema de construção com elementos normalizados, fabricados previamente e montados segundo um plano pré-concebido. Trata-se de uma prática de montagem de componentes em fábrica, por forma a ser possível o transporte de conjuntos completos para o local da obra, onde a estrutura ficará assente. Distingue-se este processo de pré-fabricação da prática de uma construção mais tradicional, na medida em que todo o tipo de materiais necessários são transportados para o local da obra, onde toda a construção do edifício é feita no próprio lugar, desde a fase inicial.

Através da pré-fabricação é possível obter-se um conjunto de elementos já prontos para serem montados e encaixados onde se pretende, no entanto com a produção em série dos elementos construtivos a pré-fabricação adquire uma imagem considerada como um tipo de construção barata, monótona e pouco atraente.



**Figura 60 – Montagem de elementos pré-fabricados**  
<https://www.pinterest.pt/pin/553872454160193777/>

Por outro lado, a sistematização relacionada com a pré-fabricação é uma ferramenta que deve ser considerada como sendo um objectivo para lidar com materiais e técnicas, visto que os materiais e as técnicas utilizadas para os trabalhar são os meios utilizados para criar arquitectura, como tal o trabalho de sistematização deve ser uma ferramenta adequada para o projecto arquitectónico. No caso em que grande parte do projecto arquitectónico que é pré-fabricado implica uma necessidade significativa de um planeamento completo das peças que vão ser produzidas, bem como os detalhes a ter em conta, surgem necessidades e níveis específicos de sistematização que precisam ser muito bem definidos. Por outro lado, quando o nível de pré-fabricação do edifício é baixo, significa que uma boa parte da elaboração do projecto poderá ser efectuada no local da obra, o que poderá originar problemas em lidar com determinados detalhes de trabalho já no processo final da construção. Quanto maior o grau de pré-fabricação mais sensíveis serão os elementos construtivos e com maior atenção deverão ser estudados os detalhes construtivos das ligações entre esses mesmos elementos.

A relação entre os vários tipos de sistemas estruturais e a sua produção é algo que se torna importante, bem como também a relação entre a sua pré-fabricação e o projecto de arquitectura do edifício em causa.

Na realidade a produção industrial poderá ser uma forma de expressão arquitectónica com características escondidas no produto acabado, ou por outro lado, essas podem ser características usadas como identidade que se pretende revelar, nomeadamente um estilo arquitectónico, ou ainda uma marca comercial. No caso das várias técnicas associadas aos diversos tipos de sistemas construtivos, estas podem ser desenvolvidas segundo diferentes linhas de pensamento, nomeadamente através da optimização do seu processo de produção, bem como da sua montagem no local da obra. No caso em que a produção dos vários elementos construtivos é industrializada tem que se assistir a uma interacção entre a utilização do edifício, o seu design e o desenvolvimento dos seus sistemas técnicos. Desta forma, aumenta a exigência ao nível da eficiência, do manuseamento e transporte dos produtos, bem como a exigência ao nível das acções que actuam no edifício depois de pronto.

Por sua vez, a pré-fabricação torna a questão do transporte numa questão muito relevante, uma vez que é possível fabricar produtos de madeira de qualquer tamanho, como tal a produção industrializada tem a capacidade de produzir elementos de quase qualquer comprimento, deixando o factor do dimensionamento por conta do meio de transporte. Por outro lado a dimensão dos elementos de madeira a utilizar na construção está também relacionada com a mão-de-obra, ou seja, é mais fácil trabalhar-se fisicamente com elementos mais pequenos, do que com grandes peças, uma vez que nesse caso já se torna necessário recorrer-se a ferramentas, como guias ou guindastes.

*In Denmark several projects have been built with massive timber elements of storey height and widths of 300 mm for the possibility of one worker handling them. (FALK, 2005, p.64)*

Já no local da obra, a entrega de elementos pré-fabricados montados colocam em causa as suas juntas durante o manuseamento e o transporte, o que por sua vez significa condições de transporte complicadas e consequentemente mais dispendiosas. Desta forma, o transporte acaba por se tornar num factor que limita a pré-fabricação dos elementos construtivos, ou seja, não podem ser fabricados painéis com dimensões superiores às medidas do próprio camião que os vai transportar, logo o tamanho dos produtos deve cumprir com as regras actuais do trânsito. Assim sendo, é importante que se verifique um equilíbrio entre a economia de trabalho, a racionalidade do mesmo e as condições de trabalho no local da montagem. Os grandes camiões que transportam as maiores peças devem conseguir chegar perto do lugar de montagem, para que seja possível entregar os elementos construtivos o mais próximo possível das guias que os vão transportar. Quando o nível de acabamento desses elementos é elevado, implica uma maior exigência ao nível do manuseamento das peças, o que em algumas situações se traduz numa logística complicada.

Verifica-se assim que o sector da construção é capaz de entregar produtos cada vez mais completos nos locais de construção, no entanto proteger um edifício inteiro durante a sua fase de construção acaba por se tornar uma tarefa difícil, como tal é vantajoso reduzir o mínimo possível o tempo de construção no local. No entanto, a criação de boas condições de trabalho, o uso de ferramentas adequadas, bem como a utilização de máquinas, mão-de-obra e ainda o controlo de produção, como também o abrigo de materiais e peças de construção, resultam num aumento dos custos no que diz respeito a todo o processo de construção, como também de pré-fabricação.

Num projecto de arquitectura em que predomine a repetição de espaços, nomeadamente no caso de um edifício com apartamentos, estes podem ser pré-fabricados em contexto de fábrica como elementos de volume e por sua vez ser complementados pela adição de elementos planos, para a constituição de lajes, ou ainda para a concepção de por exemplo vãos de escadas, varandas e áreas de serviço.

Verifica-se portanto que a aplicação dos elementos estruturais numa determinada construção depende maioritariamente das características físicas e mecânicas do material a ser aplicado. Significa por isso, que com o aumento da exigência ao nível dos elementos estruturais, torna-se cada vez mais importante ter em consideração a natureza do material escolhido para a construção, bem como deixar que o design estrutural siga os padrões de distribuição das forças ao longo da estrutura global do edifício. No caso das estruturas dos edifícios, as características arquitectónicas dos mesmos devem estar relacionadas com os pré-requisitos da standardização, nomeadamente o tamanho e o transporte das peças até ao local da obra. Em estruturas que suportam grandes vãos, a capacidade das mesmas para suportar cargas até às fundações têm um papel decisivo para o resultado arquitectónico, o que significa que se torna bastante importante a relação entre a estrutura do edifício e as suas características arquitectónicas.



**Figura 61 – Construção com painéis de CLT pré-fabricados**

<https://www.treehugger.com/sustainable-product-design/no-timber-towers-happening-america-concrete-industry-blocks-tall-wood-international-building-code.html>

Na verdade, quando recorremos à produção em série, à pré-fabricação estes são métodos que não permitem grande liberdade de escolha relativamente ao produto final, uma vez que este já foi previamente concebido, o que implica e exige uma redução da variabilidade desse produto final. No entanto a variedade e diversidade de clientes, bem como as diversas ideias faz com que a produção tenha que ter em consideração este tipo de situações, diferentes entre si. O fabricante, por sua vez deverá ter em conta as necessidades e exigências ao nível do mercado da construção, como também desenvolver acções de forma a obter a aceitação do produto junto do consumidor final. Como tal os produtos desenvolvidos devem ser apresentados e explicados ao mercado final de uma forma clara e explícita, no sentido de convencer o cliente relativamente à sua confiança no que diz respeito ao seu funcionamento e qualidade.

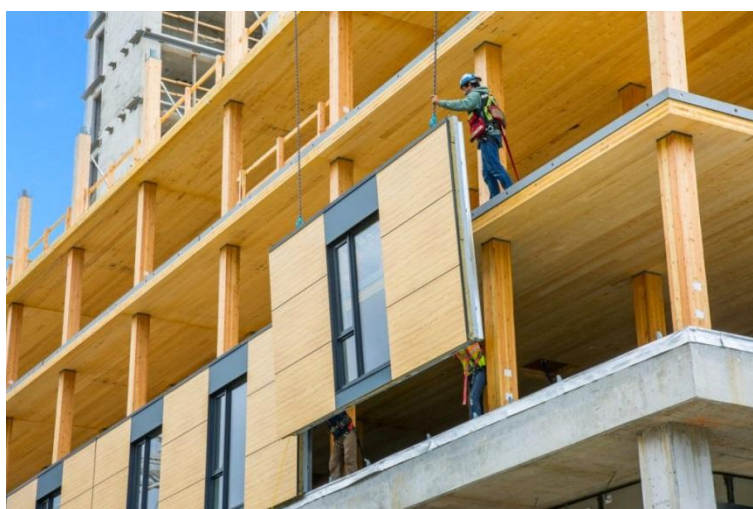
No fim da década de 1990 e no início do ano 2000, os sistemas construtivos e técnicas de produção lançadas são caracterizadas por aspectos de sustentabilidade, gestão e ecologia, como também por troca de produtos, serviços e informações, sendo esta uma situação originada pelos meios disponíveis proporcionados, por sua vez pelo aumento da capacidade informática, como também pelo desenvolvimento da tecnologia e informação. Torna-se assim importante que os métodos e técnicas de produção sejam flexíveis e que se adaptem também às necessidades e usos que se têm vindo a alterar ao longo do tempo e ainda que tanto as técnicas como os materiais sejam avaliados atendendo à sua sustentabilidade e tendo em consideração o ciclo de vida do edifício em causa.



#### 4.7. STANDARTIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A revolução industrial foi um acontecimento que significou uma mudança lenta, mas segura e muito abrangente para a sociedade, traduzindo-se num processo em que se assistiu a um desenvolvimento material e organizacional, ou seja o conhecimento que se foi adquirindo sobre como tratar os materiais permitiu criar novas ferramentas, como também novos meios mecânicos para fabricar novos produtos, o que por sua vez possibilitou o desenvolvimento de novas técnicas, que levaram a novos produtos e novas necessidades. Quando a produção industrial e a standartização se tornaram numa meta a atingir a produção tornou-se mais rápida e eficiente, no entanto teve como principal resultado produtos com significado e usos mais reduzidos, quando comparados com produtos de produção artesanal, com valor autêntico, tendo em conta que o artesanato tradicionalmente preocupava-se muito com a produção de artigos mais ou menos exclusivos. No caso da construção civil é importante ter especial atenção se a industrialização nesta área faz com que existam edifícios inabitáveis, que por sua vez com a produção em série poderão perder algum do seu significado e uso.

Através de processos construtivos standartizados consegue atingir-se níveis de padronização e uniformização, que facilitam e diminuem o tempo de produção dos elementos construtivos, bem como ajuda a padronizar a sua compatibilidade, segurança, repetição e a sua qualidade, assistindo-se também a uma diminuição do número de modelos em fabrico. Significa que haverá uma unificação dos elementos de construção, bem como de tudo aquilo que poderá facilitar todo o trabalho associado.



**Figura 62 – Montagem de peças standartizadas**

<http://greentopia.com.br/madeira-edificios-pre-fabricacao/>

No entanto, se um dos principais objectivos de um edifício é ser utilizado, então significa que a sua produção deverá estar subordinada à sua função e utilidade. O resultado final a que se pretende chegar é algo essencial, logo a sua função, uso e economia relacionadas com o seu ciclo de vida são todos objectivos que fazem parte do processo de industrialização de determinado edifício. A utilidade de determinado produto acaba por decidir em parte o seu valor, que por sua vez acaba por estar directamente ligado a questões práticas, funcionais e estéticas. Em suma, o projecto de arquitectura deverá ser estudado numa primeira fase, com o objectivo de tornar os seus produtos e ambientes construídos em resultados duráveis, utilizáveis e adequados.

Por outro lado, a economia é um factor que pode decidir a vida útil de um determinado edifício, ou pode ainda reduzir a importância da sustentabilidade do material aplicado.

O tempo de produção, construção e montagem tornou-se nos dias de hoje num factor muito importante para a economia no sector da construção, o que significa que o aumento da velocidade a que tudo isto é feito tornou-se numa questão central. No entanto, alta velocidade exige maior precisão em qualquer que seja o processo, o que não é fácil de se obter, como tal verifica-se que ao nível da industrialização, para se obter determinados resultados a partir de determinados meios é necessário seguir-se regras e padrões uniformes e rígidos. Neste sentido torna-se mais uma vez necessário alcançar uma padronização, que por sua vez traduz-se num esforço em desenhar linhas de produção, para que se torne mais simples a obtenção de longas séries de produção. Assim sendo, perante este contexto estamos perante um paradoxo, na medida em que os novos meios técnicos a que temos acessos hoje em dia, como as novas ferramentas e os novos métodos tecnológicos proporcionam uma variedade de produtos e de formas de produção facilmente alcançável.

Verifica-se um grande desenvolvimento ao nível da construção standartizada graças às necessidades urgentes relacionadas com a habitação após a Segunda Guerra Mundial, o que por sua vez conduziu a uma sistematização de medidas para todos os elementos estruturais. Foi ao nível das residências de grande escala, com a repetição de blocos de apartamentos, e com a utilização de guindastes nos locais da obra, o que por sua vez possibilitou a construção de elementos construtivos grandes e pesados, como também se verificou uma produção em larga escala de grandes estruturas e sistemas de elementos em betão.

Durante os primeiros anos da standartização da construção os detalhes eram muitas vezes considerados pouco importantes, o que por sua vez conduzia à execução de um projecto com baixo nível de detalhe.

Por outro lado, tendo em conta que a qualidade do resultado está também relacionada com a eficiência dos meios, as ferramentas começam a ser desenvolvidas a um nível completamente diferente, na medida em que são criadas novas máquinas, sendo por sua vez possível chegar perto de alcançar o acabamento de superfícies e de detalhe que eram anteriormente criados com ferramentas manuais. Em suma, verifica-se que é possível alcançar complexidade e produtos exclusivos de forma mais racional, standartizada e económica.

Verifica-se ainda que a produção informatizada permitiu à indústria progredir mais um passo relativamente ao artesanato tradicional, através da precisão e da capacidade de repetição e produção em série das máquinas de Comando Numérico Computadorizado (CNC), transformando o processo de produção em massa, com a possibilidade de conciliar a capacidade de produzir em quantidade, com a capacidade de produzir também com a qualidade desejada.

Através do acesso a *software* especializado, foi também possível que cada peça e elemento fossem projectados com todos os detalhes pretendidos, tendo em conta que são introduzidos desenhos digitais com todas as medidas e dimensões pretendidas. Esses desenhos digitais podem ainda ser acompanhados de uma listagem das peças e dos seus respectivos detalhes. Significa portanto que cada etapa do processo pode ser preparada e planeada através de comunicação digital, ou seja, através da computadorização as várias manobras podem ser programadas e executadas uma vez ou repetidamente, permitindo mudanças rápidas ao nível do projecto sem comprometer a velocidade e precisão a que determinado produto é concebido.

## 4.8. CONSTRUÇÃO MODULAR E CASAS PASSIVAS

Actualmente, graças ao resultado da má informação que circula, ainda existe o preconceito da casa pré-construída. Em boa verdade, os projectos de habitação em larga escala nem sempre preenchem os requisitos estéticos de design e muitas vezes a concepção de edifícios mais arrojados onde são empregues outro tipo de materiais, não estão ao alcance de todos os orçamentos. É nesta medida que a pré-fabricação ganha vantagem face à construção tradicional, uma vez que se torna possível a realização de projectos de alguma escala com um desenho arquitectónico moderno e apelativo, através de novas soluções arquitectónicas.

### 4.8.1. Construção modular

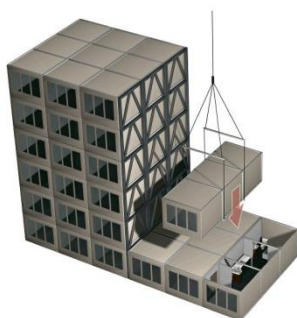
Atendendo ao modo de trabalhar que a própria madeira implica e permite, surge a pré-fabricação, em que as tarefas a efectuar em fábrica estão previamente definidas, conseguindo-se também elevados níveis de controlo de qualidade das peças, segundo conceitos actuais de racionalização e rigor. Assim sendo a construção modular, que decorre também da facilidade conseguida nos processos de fabricação, permite reunir um elevado número de possibilidades estéticas e dimensionar determinado tipo de espaços, consoante o seu contexto e o tipo de utilização pretendido.



**Figura 63 - Construção modular**

<https://sciencemeetsbusiness.com.au/housing-industry-could-save-manufacturing-jobs/>

Geralmente define-se uma estrutura pré-fabricada como sendo aquele tipo de estrutura que é construída em fábrica na íntegra. A estrutura chega ao local da obra totalmente preparada para que de seguida seja apenas necessário proceder a pequenos e simples trabalhos de corte e de serragem, no sentido de executar a montagem e encaixe das respectivas peças que constituem a totalidade da estrutura.



**Figura 64 – Construção modular**  
<https://jpreardon.com/2011/03/17/jobs-jobs-jobs/>

Na construção modular um dos objectivos é organizar as dimensões da construção de modo a estabelecer um módulo padrão como unidade de medida de referência. Esta acaba por se tornar numa metodologia que permite que todo o processo de construção seja uniformizado através da racionalização das dimensões dos componentes, conseguindo-se otimizar todo o processo de construção, desde o início da sua concepção à sua montagem e construção.

Por sua vez, as casas modulares, ou pré-fabricadas têm características diferentes quando comparadas com habitações feitas de raiz e com processos de construção e materiais mais tradicionais. Efectivamente, este tipo de construção traduz-se num novo e recente modelo de residência e habitação, práticas e com a possibilidade de poderem ser ampliadas facilmente, através da utilização de materiais com uma vertente ecológica patente, que respeitam as preocupações ambientais que estão presentes actualmente. Na maioria dos casos este tipo de construção acaba por se tornar mais acessível economicamente, o que acaba por ser uma vantagem no momento de construir uma habitação.

Actualmente já existe em Portugal algumas empresas especializadas neste tipo de construção modular. São empresas que dão a garantia da qualidade aliada ao preço de construção acessível, quando comparado com soluções construtivas mais tradicionais.

Significa portanto que a construção de casas modulares é uma das tendências a que se assiste actualmente ao nível da mudança da paisagem urbana, ou seja a pré-fabricação das casas unifamiliares, ou de blocos de apartamentos são previamente fabricados em contexto de fábrica e que depois são colocados e montados, já no local da obra, de uma forma rápida, eficiente e silenciosa, sem que desse processo resultem muitos resíduos.

*Wood is also recognised for its very high structural qualities. On the one hand, each separate module can be precisely designed and manufactured in the production hall. Furthermore, longevity is achieved through the modular approach. The building can be extended to provide further additional space at any time. (The future of timber construction CLT – CROSS LAMINATED TIMBER. Stora Enso Página 34)*

Mesmo ao nível do contexto urbano, a construção em madeira tem a grande vantagem de se materializar no local de intervenção sem interferir com o meio envolvente, uma vez que é pré-fabricada e fácil de montar, o que faz com que a sua exposição ao pó seja muito reduzida, bem como o ruído que provoca.

Ainda no que diz respeito à construção em contexto urbano, existem outros desafios que merecem também alguma atenção, para além das limitações de espaço e dos desafios inerentes à própria construção de edifícios. Trata-se de um tema que na maioria das vezes é negligenciado por uma questão de tempo de construção e de custos, no entanto é das situações mais sentidas por parte dos moradores e trabalhadores locais, que se trata precisamente da poluição sonora. No entanto, quando se recorre à construção com estruturas pré-fabricadas verifica-se que esta questão diminui significativamente de importância, inclusivamente:

*CLT construction sites are clean, quiet and dry with no site waste, cement mixers, hammer drills or lorries constantly turning up on site. (The future of timber construction CLT – CROSS LAMINATED TIMBER. Stora Enso Página 34)*

As habitações modulares têm a capacidade de se adaptar a praticamente qualquer tipo de terreno, apresentando designs inovadores e modernos. Por outro lado, a construção do edifício e a sua montagem no local da obra é um processo rápido, de apenas alguns dias, onde são aplicados materiais com grande resistência construtiva, bem como face a situações adversas, como o vento e a acção sísmica, contendo ainda isolamento térmico e sonoro.

São ainda soluções que garantem qualidade e eficiência tecnológica, nomeadamente de resistência ao fogo, com uma apresentação final semelhante à que vemos nas casas tradicionais. A sua versatilidade está relacionada com a possibilidade de acrescentar mais módulos, no caso de por exemplo, a família crescer ou pelo simples facto de ser necessário mais espaço habitável.

Graças ao peso leve do sistema construtivo e à estrutura modular das casas de madeira é possível e mais simples do que em outros sistemas construtivos converter e modificar os espaços já existentes para outros fins, nomeadamente alteração de sótãos, a adição de um piso extra ou a extensão do mesmo e ainda a remoção de uma parede, uma vez que todas estas situações são simples e práticas de se executar.



**Figura 65 – Construção modular**  
[https://www.builderonline.com/land/local-markets/colorado-developer-using-modular-housing-to-battle-low-affordability\\_c](https://www.builderonline.com/land/local-markets/colorado-developer-using-modular-housing-to-battle-low-affordability_c)

Através da elaboração prévia do projecto adequado é também possível que muitas instalações domésticas possam ser integradas ainda na fase de pré-fabricação dos elementos constituintes do edifício. Por outro lado, as desvantagens associadas a este tipo de construção prendem-se com o facto de ser um sistema construtivo relativamente recente, fazendo com que sejam conhecidas ainda poucas empresas a trabalhar neste ramo.

A questão económica pode ser considerada também outra desvantagem na medida em que apesar de poder revelar-se mais acessível, pode variar muito de solução para solução, como também de fabricante para fabricante, consoante a situação em que vai ser feita a implementação de tipo de soluções.

Relativamente a este tipo de sistemas modulares estes podem ser classificados de duas formas: fechados e abertos. No sistema modular fechado o módulo é semelhante a uma célula, que não se desagrega, ou seja, todos os componentes estão ligados, não existindo possibilidade de mudança. Por outro lado, no caso do sistema modular aberto, as paredes interiores e exteriores não têm qualquer função estrutural, porque são os pilares e as vigas que suportam todas as cargas da estrutura. A separação estrutural dos elementos com função estrutural dos que não têm função estrutural permite, por sua vez a criação de espaços de maior dimensão e mais amplos.

No caso do sistema construtivo de painéis, este tem a classificação de sistema aberto. São os painéis, por sua vez, os responsáveis pelo suporte de todas as cargas a que o edifício está sujeito. Os painéis são formados por um conjunto de perfis de madeira maciça, igualmente distanciados, enrijecido por placas estruturais, que podem ser constituídas por placas de OSB ou contraplacado, que por sua vez conferem estabilidade à estrutura. No caso dos painéis de CLT estes podem ser utilizados em elementos construtivos, como paredes interiores e exteriores, pavimentos e coberturas, apresentando sempre uma grande capacidade e resistência estrutural.

Na situação em que se opta por construir uma habitação modular utilizando a madeira como material construtivo está a garantir-se maior sustentabilidade ao nível do impacto ambiental da construção, melhor desempenho energético graças às características da madeira e ainda maior conforto por parte do utilizador, ao nível da utilização do ambiente construído.

Por sua vez, as configurações, as dimensões, a aparência e o estilo arquitectónico das casas modulares são características que estão directamente relacionadas com o fabricante e com a solução final pretendida pelo cliente, o que quer dizer que cada empresa poderá oferecer plantas, dimensões e materiais completamente diferentes entre si.

Acredita-se que a construção modular poderá ser um mercado em expansão. As casas de madeira modulares poderão ser uma das opções viáveis na construção de habitação que se adapta facilmente a diversas situações de vida, nomeadamente dos jovens, uma vez que se sente alguma instabilidade ou por outro lado a alguma flexibilidade, no que diz respeito ao emprego e estilo de vida, graças ao fácil acesso à mobilidade e facilidade de mudança de vida. Por outro lado, uma vez que este tipo de construção em madeira implica menos custos é uma forma de não recorrer sempre ao mesmo tipo de construção, em betão armado e alvenaria, com um carácter permanente, que implicam mais custos e poluição.

#### **4.8.2. Casas passivas**

A construção de casas com medidas passivas recorre a um conceito que implica uma poupança energética, bem como pela eficiência energética máxima parte do edifício.

No que diz respeito à certificação energética, assiste-se ao longo das últimas décadas ao aparecimento de novas medidas, normas e regulamentos com o objectivo de regular o impacto humano no nosso planeta. As novas medidas, às quais idilicamente se pretende chegar, fazem referência a um ideal de edifício com alto desempenho energético em que as necessidades de consumo energético sejam irrelevantes ou até mesmo nulas.

No que diz respeito ao consumo de energia que se verifica por parte de determinada construção, o mesmo pode ser dividido em duas categorias distintas, nomeadamente a energia incorporada e por outro lado a energia operacional. No que diz respeito à categoria que avalia a energia incorporada de um determinado edifício esta diz respeito principalmente à energia despendida para a própria construção. Enquanto que a energia operacional trata-se da energia consumida relacionada com o uso diário por parte do utilizador, nomeadamente a iluminação, o sistema de HVAC e ainda o funcionamento de equipamentos e electrodomésticos.



*The energy consumption of a building is another sustainability consideration. Energy consumption for buildings is usually divided into two categories: embodied energy (EE) and operational energy (OE). (Cary Kopezynski & Company, 2018, p.9)*

Desta forma, é precisamente ao nível do desempenho energético que as casas passivas se tornam numa solução muito pertinente a implementar, na medida em que este tipo de construção obedece a um conjunto de requisitos que torna possível atingir-se uma elevada eficiência energética, em que a madeira protagoniza um papel importante. Como tal para o futuro da construção acredita-se que deverá incluir-se a madeira como principal material na construção de casas, visto que se torna num material com todo o potencial necessário a concretizar os requisitos anteriormente descritos.

Relativamente a aspectos abordados ainda na fase de projecto, nomeadamente a orientação do edifício no terreno, verifica-se que no caso específico das casas passivas, as mesmas são projectadas com o objectivo de potenciar o aproveitamento de luz solar enquanto fonte primária de calor no ambiente interior. No entanto, para a contribuição do conforto térmico interior considera-se também a energia proveniente do próprio uso natural e diário da habitação, nomeadamente aparelhos electrónicos, a utilização da cozinha e casa de banho.



## 5. CLT: CROSS LAMINATED TIMBER

### 5.1. DESCRIÇÃO SOBRE O QUE SÃO OS PAINÉIS DE CLT E SUA APLICABILIDADE

#### 5.1.1. O que é CLT?



**Figura 66 – Montagem de um edifício com painéis CLT**  
<https://www.homebook.pl/profil/multicomfort/projekt-twin-drewno-lite-clt>

Os sistemas construtivos maciços em madeira têm vindo a apostar em novas abordagens estruturais, revelando por sua vez numerosas vantagens, quando comparados com sistemas de construção em madeira leves, sendo por isso que o CLT surge como a próxima geração de materiais em madeira aplicados na procura de novas soluções estruturais para a construção em altura, através de estudos e projectos recentes.

Na verdade, os produtos de madeira maciça estão presentes no mercado à relativamente pouco tempo, no entanto têm sido aprimorados ao longo desse tempo, verificando-se que os produtos de madeira colada em forma de painéis mais usados hoje em dia são os produtos lamelados cruzados, que por sua vez traduzem-se em painéis com camadas aplainadas em todos os lados, sobrepostas nas duas direcções perpendiculares entre si e coladas.



**Figura 67 – Construção com painéis de CLT**  
<http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/>

No entanto uma das principais barreiras na implementação deste tipo de sistemas construtivos está relacionada com a dúvida do público em geral, quanto à resistência e eficiência da madeira enquanto material construtivo. Apenas se este senso comum se alterar é que as limitações que se verificam em certas situações na construção em madeira vão desaparecer, assistindo-se ao aparecimento de mais técnicos especializados neste tipo de trabalho.

*Cross Laminated Timber não é, apenas, um novo material de construção, mas sim um novo processo de construção.*

(COSTA, 2013, p.21)

Numa colaboração entre a universidade e a indústria foi desenvolvida a madeira lamelada cruzada, material este que tem as suas raízes na Suíça desde 1990, mas que foi posteriormente explorado na Áustria. Este produto baseia-se num processo de colagem de várias camadas de tábuas que é efectuado na produção de madeira lamelada colada, porém no caso dos painéis de CLT são coladas sucessivas camadas dispostas ortogonalmente entre si. Esta configuração cruzada das lamelas de madeira traduz-se numa vantagem presente neste sistema construtivo, que permite atingir capacidades de resistência e rigidez mais elevadas.

Relativamente ao termo *massive timber*, que significa madeira maciça, este está relacionado com elementos de madeira produzidos em forma de placa, com função estrutural. Por sua vez, o método que é utilizado na fabricação de placas de madeira laminadas cruzadas garante que este tipo de painéis possui determinadas propriedades físicas e mecânicas, que permitem novas possibilidades construtivas, que não se verificam noutro tipo de sistemas construtivos em madeira.

*...there are rational, technical and architectural gains to be made from interactively developed architectural and structural utilization of massive timber plates. (FALK, 2005, p.1)*

As casas de madeira construídas com painéis são uma evolução das *log houses*, nas quais são aplicadas placas de madeira serrada, em vez de se utilizar troncos de madeira, em que as primeiras estruturas concebidas por meio deste sistema começaram a ser concebidas na Escandinávia. A partir deste momento vários produtos de madeira foram possíveis de ser pré-fabricados, com o objectivo de reduzir o trabalho no próprio local da obra, por forma a obter-se uma simples montagem por um pequeno grupo de trabalhadores não especializados.

O CLT tem-se mostrado o método construtivo do futuro, que se traduz na fabricação de painéis sólidos compostos de madeira, conseguindo-se assim um produto de engenharia que contém no seu resultado final todos os cuidados necessários para uma construção de altíssima qualidade.



**Figura 68 – Edifício construído com painéis de CLT**  
<http://www.e-handeldrewnem.pl/aukcje/wyroby-z-drewna--1/drewnopochodne-materialy-plytowe--1/plyty-klejone--1/plyty-clt-x-lam-z-drewna-litego.html>



**Figura 69 – Log house**  
<http://eco-wald.com/produkcja/ocilindrovanno-e-brevno/>



**Figura 70 - Loghouse**  
<http://ecowald.com/produkcia/ocilindrovanno-e-brevno/>

Este tipo de painéis de madeira são concebidos segundo diversas camadas por uma questão de optimização e melhor desempenho da estrutura, com o objectivo de sensibilizar o produto final para as falhas que existem quando os painéis são formados apenas por uma camada individual. A fabricação deste tipo de estruturas através da sobreposição de camadas faz com que o edifício se torne mais estável e firme, isolado e encerrado, com o objectivo de se garantir um ambiente mais confortável para o utilizador. Na construção com painéis de madeira estes têm a capacidade de servir como uma estrutura estável e hermética, inerte à humidade e de certo modo este tipo de painéis podem ainda adquirir desde logo a função de isolamento térmico e sonoro.

Por sua vez, os painéis de CLT enaltecem a nobreza da madeira, trazendo de volta o conforto que esta transmite, tal como uma nova linguagem de arquitectura, por sua vez mais dinâmica e envolvente, traduzindo-se num tipo de construção de casas práticas, iluminadas e com boa qualidade, no que diz respeito ao conforto e bem-estar. Este é um método construtivo que permite infinitas soluções ao nível do projecto arquitectónico, nomeadamente a criação de estruturas atraentes e contemporâneas, com vãos amplos e iluminados, verificando-se que ao optar pela construção recorrendo aos painéis em CLT, a alvenaria convencional passa a ser uma segunda opção.



**Figura 71 - Sistema estrutural Cross Laminated Timber (BORGSTROM, 2016, p.262) <sup>6</sup>**

<sup>6</sup> Design of timber structures. Structural aspects of timber construction. Disponível em: <https://www.svensktra.se/siteassets/6-om-oss/publikationer/pdfer/design-of-timber-structures-1-2016.pdf>

### 5.1.2. Processo de fabrico

Quanto ao seu processo de fabrico, é efectuada uma escolha cuidada da madeira antes de aplicada, respeitando valores técnicos exigidos pelas normas de controlo e qualidade. Estes painéis de CLT são executados com madeira seca de acordo com as normas europeias, apesar de conter algum teor de humidade, por sua vez baixo e sujeito a poucas variações, para evitar o ataque de fungos e insectos.

Embora esteja disponível material suficiente para suportar as necessidades das empresas responsáveis pela produção de painéis de CLT, está presente uma exigência básica no que diz respeito à produção deste material, que está relacionada com o facto de a madeira ter de ser seca previamente, de preferência em ambiente de estufa. Assim sendo, a produção de CLT requer madeira previamente seca e inclusivamente os fabricantes exigem um teor de humidade médio menor, do que o habitualmente requerido.

Antes de serem coladas, todas as lamelas são sujeitas a uma selecção visual, mecânica e da quantidade de humidade presente na peça, sendo possível a utilização de vários tipos de madeira na mesma peça, desde que respeitem os limites de qualidade normativos. Neste caso a qualidade da madeira é definida pela sua posição e exposição nos elementos da estrutura global, apresentando consequentemente diferentes qualidades de superfície. No sentido de proceder à colagem das lamelas, recorre-se à aplicação de um tipo de resina adequado, isenta de solventes e sem a emissão de odores, garantindo-se a cobertura de toda a superfície da placa, com posterior prensagem, de modo a certificar-se que é feita uma união de elevada qualidade.

Por sua vez, este processo de prensagem, que surge posteriormente à colagem das lamelas, faz com que as várias camadas fiquem rigorosamente coladas, obtendo-se assim um painel maciço monolítico.

Mais tarde, já em carpintaria é executado o corte das peças, com recurso à tecnologia avançada disponível. A forma como é feito o corte é especificada nos desenhos de pormenores construtivos, principalmente quando se trata de grandes aberturas como o caso de portas e janelas, como também o caso de colunas para a instalação de redes respeitantes à construção, recortadas nas lajes. Uma vez que o corte é um processo computadorizado é possível fazer a abertura deste tipo de vãos de forma mais rigorosa, de acordo com as indicações dadas ainda na fase de projecto.



**Figura 72 – Colagem das lamelas de painéis de CLT**

<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/>



**Figura 73 – Fabrico de painéis de CLT**

<https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione>



**Figura 74 – Prensagem de painéis de CLT**

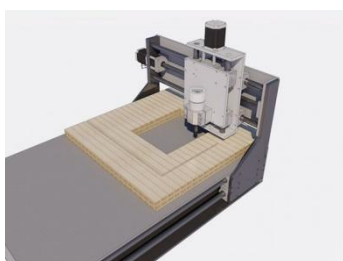
<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/>



A cada elemento construtivo é aplicado um cálculo estrutural, que associado a um processo de fabricação de precisão resulta em painéis prontos a serem montados no local da obra.



**Figura 75 – Corte de peças de CLT**  
<https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione>



**Figura 76 – Corte de aberturas em painéis de CLT**  
<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/>

Estes são o tipo de painéis, derivados da madeira que permitem uma arquitectura e concepção de espaços cuidadosamente pensados, suprimindo por sua vez as necessidades actuais.

Através da construção com madeira maciça é possível que diferentes partes do edifício possam ser desenvolvidas de forma separada, com o objectivo de se tornarem cada vez melhores em termos construtivos. No entanto, no fim da sua aplicação a qualidade, a funcionalidade e a utilidade do edifício dependem da forma como essas diferentes partes funcionam em conjunto e ainda da forma como os problemas de produção e de montagem são ultrapassados.



**Figura 77 – Fabrico de painéis de CLT**  
<https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione>

Elementos planos feitos em madeira são mais frequentemente fabricados na forma desejada e usados directamente sem tratamento adicional antes da sua montagem. Os painéis de madeira, sendo elementos planos tornam-se mais fáceis de armazenar, podendo ser carregados em embalagens planas, o que por sua vez possibilita maximizar a utilização dos meios de transporte. No seu estado mais simples, um painel de madeira pode ser transportado para o local da obra, cortado no tamanho desejado, cortado também para concretizar as aberturas do projecto, provido de revestimento e ainda poderá ser administrado isolamento do próprio lugar.

A partir de toda esta antecipação que permite a pré-fabricação destes elementos é possível a redução dos resíduos em obra, sendo estes encaminhados em fábrica para possível fabricação de outros elementos construtivos. De uma forma geral, regista-se um comprimento máximo deste tipo de painéis na ordem dos 16,5m, com largura por volta dos 2,95m e espessura de 0,5m.

No entanto, o limite que se verifica ao nível das dimensões destes painéis está relacionado acima de tudo com a viabilidade em termos de transporte. Ou seja, apesar das medidas anteriormente mencionadas é possível fabricar este tipo de painéis em qualquer dimensão, no entanto, uma vez que os camiões têm um limite de tamanho, as placas por sua vez, não podem exceder esse mesmo limite.



**Figura 78 – Fabrico de painéis de CLT**

<https://www.agrop.cz/it/o-spolecnosti/foto-della-produzione>

### 5.1.3. Funcionamento estrutural dos painéis de CLT

Os painéis CLT caracterizam-se por ser um material com elevada capacidade de carga, que em conjunto com o seu reduzido peso próprio permitem elementos construtivos elegantes, mesmo quando é necessário aplicá-los em situações de vencer grandes vãos. Nas estruturas concebidas com painéis de CLT, os elementos comportam-se como placas, sendo a transmissão da carga feita bidireccionalmente. Isto deve-se na sua maioria ao facto de os painéis serem construídos através da sobreposição de camadas, ortogonais entre si, logo apenas um painel estará apto a garantir caminhos ao transporte das cargas aplicadas em duas direcções, até às fundações.



**Figura 79 – Ligação entre peças de CLT**

<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/>



Esta característica deste sistema construtivo acaba por ser uma grande vantagem, uma vez que noutros sistemas construtivos em madeira, nomeadamente os porticados verifica-se que as cargas são transmitidas predominantemente em fluxos unidireccionais, o que significa que a estrutura terá de garantir mais elementos construtivos, dispostos em todas as direcções para garantir o transporte das várias cargas, até às fundações. Desta forma pode afirmar-se que o CLT está associado a um processo construtivo inovador.

São as suas excelentes propriedades resistentes, que por sua vez estão relacionadas com a sua composição interna maciça, que permitem uma distribuição das cargas de forma bidireccional. Através da elevada capacidade de receber cargas, associada ao seu peso próprio reduzido, obtém-se peças de madeira mais esbeltas e ao contrário do que acontece com outros sistemas construtivos, este sistema oferece novas possibilidades no que diz respeito ao transporte de carga até às fundações da construção.

Habitualmente os painéis contêm sempre um número de camadas coladas ímpar, geralmente três a sete camadas, com o objectivo de garantir um eixo de simetria na camada central. Desta forma, quando os painéis de madeira têm número ímpar de camadas, significa que está a conferir-se ao painel uma direcção predominante e outra mais fraca.

Por exemplo, um painel com três camadas acaba por se tornar estruturalmente mais fraco, porque existe apenas uma camada de cruzamento.

Por outro lado, no sentido de restringir os movimentos higroscópicos da madeira, quando sujeita a variações de teor de água, estas placas são produzidas com um controlo rigoroso do teor de água presente nas tábuas que constituem o elemento, garantindo-se assim que estes elementos são materiais dimensionalmente estáveis. Ou seja, se uma das placas coladas começar a dilatar por causa da presença de humidade, as outras que lhe estão adjacentes não vão permitir que se dê essa dilatação. Assim sendo, no sentido de aumentar a rigidez e a capacidade de resistência dos painéis de madeira maciça, quando aplicados como elementos estruturais, a madeira de onde estes provêm é seca previamente.

Atendendo a esta situação torna-se importante adaptar o teor de humidade às condições a que a madeira terá de trabalhar, isto porque se o teor de humidade da madeira estiver longe de corresponder à humidade relativa presente no ambiente, verificar-se-á o aparecimento de forças que vão acabar por danificar as juntas entre os diferentes painéis de madeira, assim como o aparecimento de deformações dos próprios elementos construtivos.

Se se der o caso de uma das camadas destes painéis de madeira maciça ficar danificada, poderá colocar em risco o correcto funcionamento da estrutura global, em que as principais causas para que esta situação possa ocorrer é a existência de humidade ou água nos elementos construtivos de madeira, tal como foi mencionado anteriormente.

Depois de concebidos, os painéis de madeira podem assumir a função de piso, ou parede, que por sua vez em ambos os casos estes elementos assumem o papel de elemento estrutural. Consequentemente são elementos construtivos que suportam cargas dependendo da orientação das suas camadas e da direcção em que as cargas são aplicadas. Qualquer das formas a capacidade de resistência das placas de madeira depende significativamente do seu comportamento anisotrópico.

Relativamente à diferença da resistência nas diferentes direcções da madeira, esta não se verifica apenas na redução da aplicação da carga numa dessas direcções, mas também quando é aplicada carga perpendicularmente ao plano do painel de madeira. Quando é aplicada uma carga perpendicular ao plano de um determinado painel verifica-se uma fraqueza nesse mesmo painel, uma vez que aparecem forças tangenciais.

Na realidade a estrutura celular da madeira permite grande capacidade de resistência na direcção longitudinal, no entanto quando as cargas são aplicadas na direcção perpendicular a esta estrutura o mesmo não acontece, podendo inclusivamente dar-se a falha dessa estrutura celular quando as cargas são aumentadas. Por outro lado, os ventos e os sismos são as duas acções a que é comum associar a forças horizontais em edifícios, em que na verdade, a orientação real dessas forças poderá provir de qualquer direcção, com intensidades quase impossíveis de se prever, gerando consequentemente forças tangenciais ao nível da estrutura global do edifício.

Nesse caso, a solução para garantir que a estrutura global do edifício consiga dar resposta à aplicação destas forças, passa por prever a transferência dessas cargas até à fundação do edifício, entre os vários elementos construtivos adjacentes através das ligações entre esses mesmos elementos estruturais, sendo o peso próprio reduzido da madeira uma grande vantagem para a diminuição do tamanho das fundações, como também para a redução do efeito da acção sísmica na construção.

No caso do funcionamento estrutural de paredes de madeira leves, com a abertura para uma janela, por exemplo, este é considerado um elemento construtivo descontínuo, ou seja, a parte onde existe a abertura não conta como parte activa no transporte de cargas até à fundação. No caso dos painéis de madeira colada cruzada, os elementos são totalmente rígidos e as propriedades das placas permitem que uma estrutura de parede transfira forças sobre toda a sua área.

Esta é uma situação que acaba por criar uma espécie de liberdade para criar aberturas, mesmo quando se trata de paredes activas no transporte de forças, tanto para a execução de portas como de janelas.

Na verdade a secção activa total será reduzida, mas não deixa de desempenhar a sua função estrutural, uma vez que a própria placa fornecerá caminhos alternativos para o transporte das forças ao redor das aberturas até às fundações do edifício. Desta forma, os cortes para as aberturas podem ser feitos em pisos para a concretização de escadas, ou até mesmo para condutas relativas a instalações inerentes ao funcionamento do edifício, tais como chaminés, como também como anteriormente mencionado, portas ou janelas.

Dependendo da intensidade das forças aplicadas em determinado painel, do tamanho da abertura desejada no mesmo e ainda da composição da madeira que constitui o painel, é possível fazer-se aberturas nos cantos dos painéis, como por exemplo uma janela que fica no limite de um painel, sem que seja necessário colunas de suporte. No entanto, é importante esclarecer-se que apesar de tudo, aberturas como janelas e portas nos painéis de madeira acabam por limitar os caminhos disponíveis pela estrutura para o transporte de cargas até às fundações, o que acaba por se traduzir num risco para o painel, devido à redução de rigidez da própria estrutura, como ainda pode acontecer também as ligações metálicas entre os elementos alterarem o seu comportamento.

Se considerarmos por exemplo aberturas colocadas directamente umas sobre as outras, esta acaba por se tornar numa situação que leva garantidamente a um comportamento menos rígido do que uma colocação alternada das mesmas.

#### **5.1.4. Comportamento sísmico dos painéis de CLT**

A partir de alguns estudos e testes que têm sido aplicados a este tipo de estruturas, pode concluir-se que a performance dos painéis de CLT revela ser bastante satisfatória, quando sujeito à acção sísmica.

Uma das preocupações a ter sempre em conta por parte dos profissionais responsáveis pela concepção do projecto de um determinado edifício são fenómenos como os sismos, que por sua vez não podem ser evitados, logo esta é uma questão que tem de estar sempre presente, no sentido de garantir que o edifício proporciona sempre a integridade estrutural necessária para manter os seus ocupantes o mais seguros possível.

A capacidade de transporte de cargas horizontais, nomeadamente da acção sísmica, deste tipo de estruturas é eficaz quando as ligações entre os vários elementos construtivos são executadas de forma adequada, uma vez que é ao nível destas ligações que a energia aplicada na construção pelas acções horizontais se dissipa.

As estruturas concebidas com painéis de CLT estão sujeitas a menos vibrações, derivadas das acções sísmicas, uma vez que os edifícios construídos com este material são projectados para resistirem à aplicação de cargas uniformemente distribuídas entre as suas paredes e as suas lajes de piso.

Significa portanto que construir-se desta forma equilibra os edifícios com CLT e torna-os estruturalmente mais sólidos, requisito necessário para suportar as acções sísmicas.

*CLT buildings have had satisfactory seismic results shake tests; showing that they are able to survive major seismic shifts with little to no damage. For example, a seven-story CLT building survived shake table testing numerous times with only minor repairs needed. (Advanced wood product manufacturing study for cross-laminated timber, 2017, p.53)*

Estudos recentes que decorreram de eventos sísmicos também recentes, mostram que os elementos construtivos de madeira, bem como estruturas inteiras têm a capacidade de cumprir com os requisitos mais exigentes no que diz respeito à ocorrência de sismos. São produtos derivados de madeira como por exemplo os painéis de CLT, NLT, DLT que proporcionam aos profissionais responsáveis por esta situação, uma opção robusta e prontamente disponível, para suportar da melhor forma possível a ocorrência de futuros sismos.

*Products like cross-laminated timber (CLT), nail-laminated timber (NLT), dowel-laminated timber (DLT), glue-laminated timber (glulam) and even light frame structural systems give designers and engineers a readily available and robust selection of code-approved building materials that can help commercial and residential buildings and other infrastructure better withstand seismic events. (Structural wood building systems, Think Wood, p.8)*

Nesta construção é sempre imperativo garantir-se uma boa ligação entre os elementos da estrutura, porque é nesta situação que a estrutura de madeira revela as suas fragilidades.

Por resistirem tão bem a sismos é que as estruturas de madeira foram utilizadas com alguma frequência no interior de vários tipos de edifícios, dos quais podemos tomar como alguns exemplos, as estruturas de madeira utilizadas nos edifícios pombalinos, em Lisboa, cuja estrutura de madeira se designa por gaiola, ou nas construções mediterrânicas mais vernaculares, onde eram introduzidos elementos de madeira no interior das suas paredes, para lhes conferir maior resistência aos abalos sofridos.

O bom desempenho de estruturas concebidas em painéis de CLT é uma característica reconhecida na área da arquitectura e da construção. No entanto, para que esse desempenho estrutural aconteça têm que se garantir na concepção da estrutura alguns princípios, nomeadamente a simplicidade estrutural, tal como a repetição e homogeneidade dos elementos estruturais.

Deve ter-se em conta também a massa reduzida das peças constituintes, que resulta por sua vez numa menor força de inércia aplicada e por fim deve garantir-se que a capacidade de dissipação de energia a que a estrutura global está sujeita, deve ser feita através das ligações.

Neste tipo de sistemas construtivos, onde são utilizados painéis de madeira, é precisamente nas ligações entre os mesmos e na ligação de toda a estrutura ao embasamento a que se assiste ao desempenho estrutural adequado da construção quando sujeita à acção sísmica. Para que esta situação se verifique, tanto as ligações estruturais, como as próprias peças pertencentes à estrutura devem ser projectadas com uma resistência suficiente.

Assim sendo, as paredes de madeira são os elementos primários de resistência às forças horizontais aplicadas, tais como o vento e a acção sísmica. Por outro lado são as paredes que garantem o contraventamento lateral necessário para reduzir estes deslocamentos horizontais.

Por outro lado, no que diz respeito ao comportamento sísmico de edifícios que utilizam este sistema construtivo, tem-se registado um desempenho estrutural bastante satisfatório, atendendo a alguns estudos, que têm sido realizados. Um desses estudos realizados é o Projecto Sofia, um edifício de sete andares, construído à escala real, testado em mesa sísmica, que sobreviveu às acções sísmicas provocadas sem danos significativos.

#### **5.1.5. Resistência ao fogo**

A resistência ao fogo é um dos aspectos de maior importância em termos de segurança num edifício, o que significa que escolher uma estrutura em madeira é algo sobre o qual o público em geral manifesta receio, na medida em que conceber um edifício com um tipo de estrutura em madeira transmite fragilidade e insegurança.

Vários testes foram realizados, no sentido de avaliar a capacidade de resistência dos painéis de CLT ao fogo, os quais mostram que este produto de madeira é seguro e resistente em caso de incêndio, uma vez que não se verifica a propagação das chamas pela construção, ficando apenas pela parte exterior do próprio painel, impedindo assim acumular calor no interior do edifício, garantindo-se ainda que as paredes têm a capacidade de permanecer estruturalmente sólidas e estáveis.

Inclusivamente estatísticas norte-americanas revelam que durante a deflagração de um incêndio a perda de vidas humanas dá-se pela inalação do fumo proveniente das chamas e não pela falha que possa ocorrer ao nível estrutural.

*North American fire-loss statistics reveal that death and injury in building fires are usually caused by smoke inhalation, and occur long before structural failure. (Structural wood building systems, Think Wood, p.8)*

A vulnerabilidade das peças de madeira à acção do fogo dá-se quando o teor de água presente nas mesmas está abaixo da sua saturação, traduzindo-se numa fácil combustibilidade. No entanto, a madeira possui uma boa resistência ao fogo, tal como uma boa resistência mecânica durante um incêndio. Por sua vez a madeira, sendo um material combustível, quando exposta a calor suficiente e constante vai-se degradando, resultando numa perda de resistência mecânica devido à decomposição da lignina no tecido lenhoso.

Os elementos de madeira que estão sujeitos à combustão têm a capacidade de conservar a sua solidez e resistência estrutural, sendo necessário garantir secções transversais de peças estruturais de madeira com espessura suficiente para garantir segurança ao utilizador, uma vez que a combustão inicial é apenas superficial, criando-se uma camada protectora carbonizada, que por sua vez protege o resto da madeira, ou seja, dá-se um isolamento da peça de madeira, graças às camadas externas da mesma que ficam carbonizadas. Significa portanto que posteriormente à fase inicial de degradação, a madeira fica carbonizada, permanecendo momentaneamente protegida pelo seu próprio carbono, acabando por formar uma barreira protectora, o que faz com que a madeira queime muito mais lentamente, demorando assim mais tempo até chegar ao seu núcleo.

Uma vez que os elementos estruturais de madeira sustentam o seu peso próprio, verifica-se uma redução da sua secção transversal de uma forma gradual. No entanto é necessário especial atenção a este parâmetro para garantir um elemento estrutural com capacidade suficiente para resistir a um incêndio. Significa portanto que, apenas se consegue conferir à estrutura global do edifício uma resistência mecânica eficaz face às chamas se a secção transversal dos elementos construtivos for calculada devidamente.

Significa portanto que uma determinada estrutura de madeira, correctamente projectada e concebida, terá a capacidade de transportar as cargas para as quais foi projectada, mesmo depois de ter sido exposta ao fogo por algum tempo, uma vez que os seus elementos construtivos terão espessura suficiente, para em caso de incêndio poderem resistir ao mesmo, sem que a estrutura queime demasiado rápido ou colapse.

Num incêndio considerado de proporções normais a velocidade de combustão da madeira é de  $0,6\text{mm.min}^{-1}$ . Se for considerado um barrote, este terá a capacidade de resistir à combustão durante cerca de uma hora, conservando durante algum tempo as suas características mecânicas. Este desempenho da madeira face a um incêndio torna-se mais interessante do que aquilo que acontece, por exemplo com o aço, na medida em que este material, quando sujeito a altas temperaturas começa a perder a sua resistência e a deformar-se de forma irreversível.

Tal como mencionado anteriormente, esta capacidade de resistência ao fogo por parte de elementos de madeira está directamente relacionada com as dimensões da secção transversal dos elementos estruturais, na medida em que elementos de madeira, com camadas já carbonizadas manifestam maior dificuldade de ignição e combustibilidade pela sua baixa condutibilidade térmica e inibição de combustão. Após algum tempo de deflagração das chamas, a camada externa da madeira carboniza, acabando por isolar termicamente o restante material. Desta forma, a madeira tem a capacidade de reter o calor, ajudando na contenção do incêndio, mantendo no seu interior as suas propriedades resistentes, sendo esta uma razão importante para a adopção de uma camada exterior que garanta uma secção efectivamente resistente, adequada à exposição a altas temperaturas.

Antigas estruturas concebidas em madeira são normalmente vistas como estruturas sobredimensionadas, sendo esta uma questão que poderá estar relacionada com o facto de em momentos anteriores da história da construção não existirem meios semelhantes aos de hoje em dia, para dimensionar este tipo de estruturas com a quantidade de material estritamente necessário, no entanto esse sobredimensionamento poderá trazer uma grande vantagem quando se trata de resistência às chamas, tornando-se assim num tipo de estrutura mais segura, quando comparada com as estruturas de madeira minimizadas pela quantidade de material despendido.

Considerando como exemplo ramos secos e de pequena dimensão, estes ardem com mais rapidez e intensidade numa fogueira, do que peças de madeira de maior secção. No limite, é necessário garantir que a estrutura de madeira estará apta a tirar partido da grande rigidez da madeira carbonizada como uma vantagem, no que diz respeito sua à estabilidade estrutural. Estruturas de madeira maciças mostram um comportamento mais robusto em caso de incêndio, do que estruturas de madeira mais leves.



As estruturas de madeira maciças não são tão sensíveis ao colapso, no entanto devem ser sempre projectadas cuidadosamente, considerando sempre a importância das ligações metálicas entre os vários elementos de madeira. No entanto, devido ao maior volume de material combustível, a madeira maciça utilizada na construção poderá causar um incêndio mais duradouro, se não for correctamente projectado e principalmente se se der o caso do fogo se espalhar pela própria construção ou pelas imediações.

No caso em que elementos de madeira são ligados entre si por elementos metálicos pode ainda dar-se o caso de acontecer um aumento de temperatura nesse local, que deve ser sempre considerado durante a fase de projecto, no cálculo da resistência ao fogo desse elemento de madeira.

Assim sendo, outra questão muito importante a considerar em situação de deflagração de um incêndio são as ligações feitas entre os vários elementos estruturais, que quase sempre são executadas através de elementos metálicos. Isto porque quando sujeitos a altas temperaturas as suas características de resistência e rigidez degradam-se muito rapidamente, proporcionando ainda a condução desse mesmo calor para o interior das peças de madeira. Logo deverá ser tido em conta uma barreira protectora destes elementos metálicos com função estrutural, tais como os pregos, parafusos, chapas, cabos, em caso de aumento abrupto de temperatura.

Como tal, uma das formas de proteger estes componentes metálicos é através do encapsulamento dos materiais metálicos em materiais não combustíveis, ou então embuti-los na própria madeira, situação esta que se torna possível graças à baixa condutibilidade térmica da madeira.

No caso das estruturas executadas com painéis de CLT, estas possuem características especiais de comportamento quando sujeitas à acção do fogo. Por sua vez essas características dependem da quantidade de camadas de que são constituídos os painéis, tal como da sua disposição. Desta forma a avaliação da resistência ao fogo destes elementos faz-se também tendo em conta a situação em que estes são aplicados, ou seja, se são aplicados em paredes, pavimentos, coberturas. Uma das estratégias possíveis para proteger os painéis de CLT, para além de tratamentos aplicados, é o revestimento dos mesmos através da fixação de revestimentos adicionais.

Ou seja, apesar da sua intrínseca resistência às chamas, estão mesmo assim a ser desenvolvidos materiais que podem ser aplicados nos painéis com o objectivo de retardar a propagação das chamas pela construção.

Nestas situações a espessura dos painéis torna-se assim num factor de grande importância, na medida em que quanto maior a sua espessura maior será também a sua resistência em caso de incêndio, logo a espessura do material isolante não necessita ser tanta.

Em suma, significa que para uma correcta utilização da madeira na construção é necessário e muito importante estudar detalhadamente a sua resistência às cargas aplicadas, bem como a sua estabilidade, sendo estes dois dos critérios que farão com que as superfícies de madeira possam ficar visíveis ou não.

E ao contrário do que se possa pensar possível, a verdade é que se tem verificado a aplicação de painéis CLT em diversas situações pouco prováveis, ao nível da segurança contra incêndios, graças ao conhecimento adquirido ao longo do tempo, cada vez mais aprofundado sobre este material.

#### **5.1.6. Conforto térmico e acústico**

Verifica-se que os valores de condutibilidade térmica associados aos painéis de CLT são bastante satisfatórios quando comparados com outros materiais de construção com capacidade estrutural.

*Um painel simples, sem isolamento satisfaz o desempenho mínimo requerido pelo RCCTE. (COSTA, 2013, p.28)*

Como tal verifica-se que as paredes compostas por painéis de CLT apresentam por si só características de resistência térmica relevantes. Quando comparadas com as paredes de alvenaria, que constituem vários elementos de construção de edifícios tradicionais, as paredes de CLT apresentam uma melhoria significativa no que diz respeito às características de resistência térmica. Na realidade, a inércia térmica e a capacidade que determinado material tem de armazenar calor, têm efeitos directos sobre a necessidade de adicionar à construção material isolante, na medida em que a capacidade de isolamento por parte das paredes de madeira maciças pode reduzir significativamente essa necessidade de colocar mais material.

Assim sendo a construção que recorre ao uso de painéis de madeira maciça permite uma boa qualidade de isolamento tanto térmico, como ao nível do isolamento da construção contra a humidade, criando-se assim um envelope externo de alto desempenho, permitindo uma boa gestão da própria construção ao nível das águas pluviais, o uso da água potável, a qualidade do ar interior, a racionalização do uso da energia, bem como uma redução dos resíduos.

*A person living in the Yobi uses roughly one-third of the energy of someone living in a conventionally designed apartment building. (Structural wood building systems, Think Wood, p.3)*

Qualquer das formas, no caso de ser necessário aumentar a espessura das paredes para obter maior capacidade de resistência face ao transporte de cargas, poderá também ser necessário aumentar a capacidade de isolamento dessa mesma parede. Por outro lado, na estação fria, verifica-se também um bom desempenho térmico destes painéis, graças à ausência de pontes térmicas.

Esta ausência de pontes térmicas é justificada pela homogeneidade da madeira aplicada entre elementos contíguos, na medida em que a espessura das paredes constituídas por painéis de CLT é significativamente inferior à de alvenaria, para os mesmos valores de coeficiente de transmissão térmica. Em boa verdade, optar-se por construções com estruturas de madeira em CLT revela-se neste campo da condutibilidade térmica, uma solução simples, bastante competitiva e que implica perdas térmicas menores.

No que diz respeito ao desempenho acústico dos painéis de CLT, graças às várias camadas que constituem os mesmos, estes apresentam uma densidade significativamente mais elevada do que outro tipo de construções em madeira mais usadas. No caso de soluções mais exigentes que implicam um melhoramento do desempenho acústico é sempre possível introduzir nestes painéis camadas de isolamento de modo a não permitir a passagem do som entre espaços.

A acústica e a taxa de reverberação dependem das propriedades das superfícies existentes. A escolha dos materiais a aplicar e o tratamento a aplicar irão na realidade definir o ambiente sonoro que se pretende. Os problemas relativos ao isolamento acústico sentidos em estruturas de madeira podem ser classificados em três categorias: som transmitido pelo ar (*airborne sound*), som de impacto ou percussão (*impact sound*) e transmissão de flanco (*flank transmission*). O som trata-se na realidade de uma mudança de pressão no ar, que no caso específico dos materiais é transmitido através de vibrações. Quando uma onda sonora encontra um elemento construtivo parte desta será reflectida de volta para o ambiente confinado por esse mesmo elemento, por outro lado outra parte dessa energia provocada será absorvida pelo material.

No sentido de evitar a propagação do som, os pisos poderão ser revestidos com tectos falsos, ou seja com placas de gesso cartonado, actuando como camadas flexíveis de amortecimento das vibrações sonoras, aproveitando ainda o facto de este material poder esconder algum tipo de instalações necessárias inerentes ao funcionamento do edifício, nomeadamente cabos de electricidade. Na verdade, um tecto suspenso impede que as vibrações passem directamente para o piso adjacente quando devidamente fixadas.

A transmissão de vibrações sonoras através de placas de madeira maciças depende também da junção entre os vários elementos construtivos, na medida em que um dos problemas com estruturas de piso de madeira é precisamente a leveza deste recurso natural. O baixo peso próprio do material baixa a própria frequência, o que implica maior atenção relativamente ao isolamento sonoro. No entanto, quando se adiciona mais quantidade de material, o que consequentemente aumenta o peso da construção, faz com que o seu comportamento sonoro melhore.

#### **5.1.7. Higroscopicidade do CLT**

No caso específico dos painéis de CLT, quando aplicados na construção estes irão aumentar e diminuir de volume consoante a humidade que se registar no ambiente. No entanto esta não será razão suficiente para que o painel de madeira altere a sua forma, uma vez que a colagem e prensagem de todas as camadas, ortogonais entre si, não permitem que o painel se deforme.

Atendendo a estas variações, que por mais pequenas que sejam podem sempre ocorrer, torna-se desajustado aplicar na construção revestimentos, como o azulejo, as telhas, directamente sobre a superfície do painel, uma vez que devido à mudança de forma dos mesmos poderá resultar em deformações indesejadas, não suportadas da mesma forma por estes revestimentos.

Na maioria dos países nórdicos, a principal abordagem que se confere na aplicação de madeira maciça na construção é deixar a mesma à vista o máximo possível. Como tal, no caso específico da utilização de por exemplo papel de parede, este também não é um procedimento muito aconselhável, principalmente devido à variação da humidade presente na madeira, que com o passar do tempo, o mais provável é danificar esse tipo de revestimento.

No entanto já depois de concluída a obra, verifica-se que estes painéis permitem uma boa capacidade de regular, de forma natural o teor de humidade no ar, conduzindo a um óptimo ambiente interior e boa salubridade no interior das habitações. Inclusivamente, na estação de Inverno a capacidade da madeira de transportar humidade é reduzida, no entanto aumenta logo que a madeira se adapte ao clima de Verão.

*A madeira, como um material de construção natural, comporta-se em sintonia com a natureza ao longo de toda a sua vida útil. (COSTA, 2013, p.31)*

## 5.2. APLICAÇÃO DOS PAINÉIS DE CLT EM OBRA

Com o planeamento prévio adequado, os painéis de madeira são entregues directamente em obra nas dimensões pretendidas e com a forma estabelecida, incluindo a abertura dos vãos, reduzindo-se significativamente os resíduos em obra. Em coordenação com a equipa de montagem, que não necessita de muitas pessoas, existe a possibilidade de montagem de toda a estrutura do edifício de imediato. As grandes dimensões dos painéis de CLT é uma característica que acaba por se tornar numa grande vantagem, uma vez que dessa forma a montagem de todo o edifício acaba por ser mais fácil, rápida e eficaz.

A aplicação em obra dos painéis de CLT tem vantagens tanto a nível do processo de construção do edifício, como também vantagens relacionadas com a própria concepção do projecto. Este sistema construtivo reduz o tempo de construção e consequentemente os custos inerentes à obra, registando-se por outro lado um aumento da segurança em obra.

O facto de os elementos construtivos serem produzidos em fábrica torna todo o processo de construção mais simples, rápido e silencioso. Por sua vez é possível produzir previamente as peças da estrutura e transportá-las de seguida para o local da obra, graças ao peso reduzido que as mesmas apresentam. No fundo, para se construir com painéis em CLT torna-se apenas necessário o auxílio de uma grua, mão-de-obra especializada e um plano de montagem.



**Figura 80 – Aplicação de painéis de CLT em obra**

<http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/>



**Figura 81 – Aplicação de painéis de CLT em contexto de obra**

<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/>

Com a montagem de paredes e lajes a partir de um sistema de encaixes consegue-se uma redução do número de possíveis erros durante a montagem do edifício no local. Por outro lado, uma vez que esta se trata de uma montagem praticamente a seco é possível fazer-se quase em simultâneo a instalação de outros sistemas técnicos e a aplicação de revestimentos interiores e exteriores.

Por outro lado, na construção com painéis de CLT é importante manter a construção protegida do contacto directo com a humidade proveniente do solo, logo as fundações deste tipo de edifícios deverão ser constituídas por materiais que não fiquem danificados quando em contacto directo com o terreno.

Em suma, o CLT é um material que trás inúmeras vantagens associadas à sua montagem no local da obra, porque para além de ser necessário uma área mínima de estaleiro, são utilizadas ferramentas pouco ruidosas, que provocam pouco pó, causando pouco impacto para a população envolvente, aquando da construção do edifício.



**Figura 82 – Construção com painéis CLT**  
<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/>

#### **5.2.1. Ligações entre elementos estruturais**

O tipo de conexão utilizada na ligação entre os vários elementos de madeira também decide a capacidade de carga possível a aplicar. As placas de madeira laminada colada são geralmente montadas com ligações metálicas, nomeadamente através de parafusos.

A colagem dos painéis de madeira é na verdade um processo que hoje em dia se tornou comum e eficaz em ambientes industriais. Consoante o ambiente e as condições em que os painéis de madeira colados são utilizados verifica-se que são aplicados diferentes tipos de colas.

*Depending on the conditions during which the product will be used, different adhesives are required. For exterior use with exposure to weathering and rainfall, polyurethane or phenol-resorcinol resins are used. For indoor use, varieties of melamine resins are most common. (FALK, 2005, p.61)*

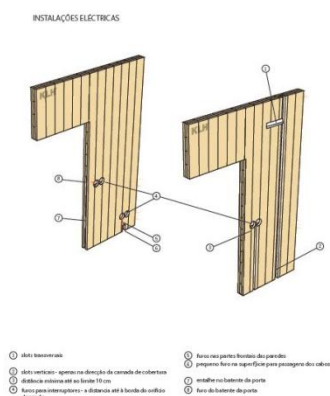
O risco da produção e da aplicação das colas usadas neste tipo de painéis de madeira tem sido discutido ao longo de vários anos. Na verdade a produção da cola poderá ter algumas reacções, nomeadamente irritabilidade na pele, nos olhos e na garganta. E na verdade, para que se verifiquem este tipo de situações não é necessária a produção de grandes quantidades de cola, é suficiente apenas uma pequena concentração para pessoas mais sensíveis.

Depois de aplicada, as emissões provenientes da cola acabam por desaparecer após o seu endurecimento, no entanto será sempre importante garantir boas condições de trabalho, nomeadamente uma boa ventilação e protecção durante a sua produção. Se estas condições se verificarem sempre durante a produção das colas, os riscos para a saúde e para o meio ambiente serão minimizados, ou até mesmo totalmente anulados.

No entanto, antes de qualquer adesivo ser aplicado, o mesmo deverá ser primeiramente aprovado pelas organizações competentes e responsáveis pelo seu controle, sendo para além desta questão necessário que a aplicação de qualquer tipo de cola seja efectuada apenas em ambiente de fábrica, onde as condições de aplicação são totalmente controladas e onde a qualidade da junção dos painéis pode ser assegurada desde o início e em qualquer situação.



### 5.2.2. Rede de infra-estruturas



**Figura 83 – Instalações eléctricas em painéis de CLT**  
(KHL Catalogue, p.20)<sup>7</sup>

No que diz respeito às instalações eléctricas, a situação mais recomendada é a execução de ductos externos à estrutura de madeira. Geralmente os ductos metálicos ou de plásticos são os mais utilizados, oferecendo uma óptima qualidade ao nível do projecto de iluminação.

Uma vez que este tipo de construção, em determinados casos faz com que o edifício fique elevado relativamente ao terreno, podem ser instaladas tomadas nos próprios pisos, criando-se ductos de conexão abaixo da laje de CLT, facilitando alterações posteriores de *layout*, tal como a manutenção da estrutura. Por outro lado a rede de água e esgotos pode ser externa ou embutida na estrutura de CLT da edificação.

### 5.2.3. Revestimentos compatíveis

Para combinar diferentes materiais de revestimento nas fachadas de edifícios construídos com painéis de CLT é importante garantir níveis satisfatórios de ventilação das mesmas. Quanto mais densos forem os materiais de revestimento, mais ventilação será necessária. Igualmente importante será a aplicação de barreiras de vapor, correctamente dimensionadas e posicionadas, com o objectivo de proteger os painéis de madeira de possíveis condensações, como também de problemas de degradação precoce. No sentido de tirar o melhor partido possível de uma estrutura concebida em madeira é primeiro necessário compreender quais as suas potencialidades e quais os seus principais problemas.

Em países onde nunca se perdeu a tradição de construir em madeira já foram dadas provas suficientes das capacidades arrojadas deste recurso natural. Na verdade, a utilização da madeira na construção sempre esteve directamente relacionada com a disponibilidade desta matéria-prima, com a sua comparação com outros materiais alternativos, com o clima e com questões tanto sociais, como culturais.

<sup>7</sup> KHL Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures. Disponível em: <http://www.klhuk.com/home.aspx>



**Figura 84 – Pormenor construtivo de uma solução construtiva com painéis de CLT**

<https://fatpencilstudio.com/blog/clt-construction/>

É por causa do impacto negativo que o sector da construção causa no meio ambiente que se tem vindo a assistir a um crescente interesse pela utilização da madeira como material de construção. Inclusivamente na Europa regista-se um aumento da construção de edifícios residenciais de vários andares, construídos com CLT. É com a implementação deste material, cada vez mais notória, que se verifica um interesse cada vez maior na investigação das potencialidades deste material ao nível estrutural, originando projectos de arquitectura cada vez mais inovadores.

No que diz respeito ao tipo de revestimentos a aplicar nas diversas situações construtivas, é importante que as peças de madeira que por sua vez delimitam as zonas húmidas do edifício recebam revestimentos impermeabilizantes adequados, nomeadamente porcelanas e cerâmicas. Na verdade, as áreas molhadas de determinado edifício, quando concebidas com painéis de madeira, também podem ser pré-fabricadas e ser sujeitas a acabamentos de alta qualidade.

No caso das paredes externas concebidas em painéis de CLT deverá ser garantida total estanquidade destes elementos construtivos, de modo a protegê-los contra possíveis humidades e da insolação, no sentido de aumentar a durabilidade deste material. O revestimento vinil, os revestimentos metálicos, ou os produtos impermeabilizantes como as tintas são alguns dos exemplos de materiais com função impermeabilizante que podem ser utilizados.

No entanto, as fachadas de edifícios construídos em madeira são um ponto sensível deste tipo de construção, uma vez que existe a possibilidade de o fogo contaminar outros edifícios nas imediações mais próximas. Desta forma pode afirmar-se que o revestimento da fachada é também um ponto crítico da mesma, uma vez que na maioria dos casos esse revestimento é fixado a uma certa distância da parede, com o objectivo de permitir que a humidade da chuva, ou a que está presente na própria madeira possa sair.

Como tal, essa distância poderá facilmente funcionar como um canal para a propagação do fogo dentro da própria estrutura da fachada, conduzindo as chamas ao longo da totalidade do edifício. No caso das paredes internas do edifício constituídas por painéis de CLT secas, estas podem receber acabamentos como ceras, tintas, como também gesso cartonado.

### **5.3. PRINCIPAIS VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PAINEIS DE CLT**

O CLT apresenta vantagens relacionadas com questões ambientais, com a concepção do próprio projecto, tal como com o processo de construção do edifício.

Ao incentivar a construção recorrendo a este material está simultaneamente a estimular-se a plantação de mais árvores, e consequentemente a aumentar a área florestal, o que significa que a pegada ecológica irá diminuir. Por outro lado, verifica-se uma redução no tempo de construção, o que se traduz num aumento de segurança em obra e na redução de custos.

Durante o processo de concepção do projecto, o CLT permite ao projectista uma elevada versatilidade, podendo materializar diferentes tipos de elementos estruturais e aplicar-se em edifícios com diferentes formas. Permite atingir vãos de laje bastante longos sem a necessidade do auxílio de elementos estruturais de suporte, adaptando-se a sistemas híbridos, podendo trabalhar em consonância com outros materiais construtivos.

Semelhante ao que acontece nas estruturas constituídas por alvenaria ou betão armado, a construção em madeira maciça constituída por painéis de grandes dimensões possui um comportamento monolítico, relativamente ao que diz respeito ao seu comportamento estrutural. Por sua vez, é um sistema que se baseia na disposição de paredes resistentes, que garantem o transporte das cargas através das suas superfícies lineares contínuas. Desta forma, obtém-se uma menor concentração de esforços nos seus componentes estruturais, tal como um conjunto estrutural com maior rigidez.

Apesar de todas as vantagens enumeradas, é importante ter sempre em conta algumas fragilidades deste sistema de construção maciça, nomeadamente o risco de colapso progressivo. Para que esta situação não ocorra será necessário implementar medidas preventivas de reforço estrutural. Por outro lado, a compartimentação dos espaços habitacionais está directamente relacionada com o número elevado de paredes resistentes necessárias ao bom desempenho estrutural global, o que pode traduzir-se numa limitação à utilização dos mesmos.

Ainda no que diz respeito a alguns dos pontos mais fracos na utilização desta solução construtiva, verifica-se que o preço pouco competitivo deste tipo de materiais poderá ser um factor que retrai os seus potenciais utilizadores, uma vez que obriga a projectos de elevada precisão, para que seja possível o fabrico das diversas peças da estrutura em fábrica.

Por fim, acaba também por ser uma desvantagem a susceptibilidade dos painéis de CLT em contacto directo com o solo. Este é um aspecto ao qual deve dar-se maior importância, no sentido de tornar a sua construção viável, tal como a durabilidade desta estrutura, evitando-se que a água suba pela construção acima, por capilaridade. Neste sentido, recorre-se na maioria das vezes a um embasamento executado em betão armado.

#### **5.4. CONSTRUÇÃO COM PAINÉIS DE CLT EM PORTUGAL**

No geral, a construção recorrendo à madeira, principalmente para conceber estruturas de edifícios, tem-se traduzido num estigma muito presente tanto no público, como em vários técnicos do sector. Esse estigma está por sua vez relacionado com a durabilidade da madeira e com a sua resistência ao fogo, que se acredita ser pouca. Em Portugal, prefere construir-se recorrendo a processos correntes de construção, os que se tornaram mais comuns, por outro lado, acredita-se que as estruturas de madeira são utilizadas apenas em situações provisórias ou de menor qualidade. Somam-se ainda a estas razões o facto de existir poucos técnicos especializados em construir com estruturas de madeira e a ausência de formação específica.

Apesar de algum receio instalado, a verdade é que o CLT é um material que apresenta excelentes capacidades ao nível estrutural, tornando-o num processo construtivo muito atractivo e num forte concorrente às construção mais tradicionais que habitualmente recorrem ao betão armado e à alvenaria.

Em Portugal, dá-se actualmente os primeiros passos no que diz respeito à construção com este tipo de material, registando-se apenas três exemplos com maior expressão, tratando-se um deles de uma reabilitação: o Complexo Municipal de Piscinas em Almada, a Casa de Repouso em Coimbra e a Habitação Social em Alcanena, estando agora em construção um edifício escolar em Lisboa.

## 5.5. REABILITAR COM PAINÉIS DE CLT

No que diz respeito à reabilitação e recuperação de edifícios recorrendo aos painéis de CLT registam-se algumas vantagens, tais como a sua compatibilidade com outros materiais e sistemas construtivos, o facto de o peso próprio da estrutura de CLT ser reduzido, como também se verificam ganhos ao nível da área e altura disponíveis dos espaços. Por outro lado, pelo facto de a madeira ser um material fácil de se utilizar, na maioria dos casos, os componentes de madeira não requerem equipamentos para efectuar a sua montagem por serem pesados, acabando por se tornar simples de montar e de encaixar.

Graças à pré-fabricação deste tipo de material consegue-se uma intervenção em obra seca, com poucos resíduos e com prazos reduzidos. Outra das vantagens igualmente importante ao recorrer-se a este método construtivo é a sua capacidade de dar resposta às forças horizontais aplicadas na construção, nomeadamente as acções sísmicas. Não só na construção feita de raiz, mas também ao nível da reabilitação verifica-se que é importante conferir ao edifício em causa toda a estabilidade e capacidade de resistência aos sismos, na medida em que se pretende garantir que o edifício deixe de ser vulnerável e que com a adição de um sistema construtivo eficaz transmita maior segurança e capacidade de resistência ao seu utilizador. Outra das vantagens de se recorrer a estruturas de madeira para a reabilitação de edifícios é o facto de no momento em que a construção executada com peças de madeira chega ao seu fim de vida, é possível proceder à sua desmontagem, sem produção de poluição, com a grande vantagem de ser possível dar-se novas utilizações a esses elementos de madeira.

A utilização deste sistema construtivo, ou inclusivamente de outros que recorrem a produtos lamelados-colados, ou derivados de madeira, para fins de reabilitação já acontece desde há algum tempo, no entanto em Portugal é pouca a experiência adquirida na aplicação deste tipo de soluções. Opta-se por este tipo de situações construtivas pelo carácter pouco intrusivo deste material, pelo seu peso próprio reduzido e pelo facto de ser reversível, ou seja, pode retirar-se uma peça para manutenção sem ter que se retirar ou danificar todas as outras. A vantagem que os painéis de CLT têm sobre as paredes de alvenaria está relacionada com o facto de as paredes de alvenaria não apresentarem capacidade resistente aos esforços axiais ou de flexão produzidos pelo acréscimo de peso próprio da estrutura.

No entanto, em Portugal, tal como noutros países da Europa assiste-se a um regresso à utilização da madeira, no sentido de ser aplicada tanto em construções novas, como em construções de reabilitação. Desta forma, pode verificar-se que a madeira é uma boa aposta para o futuro da reconstrução, devido às suas inúmeras vantagens, enquanto material de construção. Esta poderá ser uma das razões para o aumento da procura da madeira na construção e remodelação de edifícios, graças à facilidade de a modelar, como também pela facilidade e rapidez em aplicá-la em espaços já existentes.

No entanto, para conceber estruturas utilizando a madeira como elemento estrutural é necessário ter conhecimento sobre o seu comportamento, tal como sobre as possíveis patologias que possam surgir e ainda ter a possibilidade de simular a própria estrutura através de um modelo analítico o mais fiel possível. No entanto, não conseguir retratar fielmente o comportamento real da estrutura, continua a ser uma dificuldade que os projectistas sentem, principalmente quando é necessário caracterizar as ligações entre os vários elementos, sendo esta uma situação que se agrava e torna-se mais sensível quando se trata da reabilitação de estruturas concebidas em madeira.

Recorrendo aos painéis de CLT, verifica-se que as intervenções de reabilitação são menos invasivas do ponto de vista estrutural e arquitectónico, na medida em que segundo o que está estabelecido por lei, é necessário que a elaboração de projectos e a sua execução em obra deve privilegiar a adopção de métodos e práticas durante a execução da obra que causem o mínimo de impacto possível e perigosidade.

Quando comparamos a reabilitação de edifícios com painéis de CLT, com a reabilitação de edifícios com estruturas em aço, verifica-se que as ligações necessárias entre a estrutura de madeira e a alvenaria, são ligações pontuais, enquanto que em intervenções onde se opta por utilizar perfis de aço, estas apresentam alguns problemas, nomeadamente a necessidade de garantir uma boa ligação à alvenaria original, o que por sua vez provoca grandes concentrações de tensões nos pontos onde estes dois materiais se ligam, consequência da grande diferença de rigidez entre a estrutura de aço e a alvenaria.



Em boa verdade, a utilização dos painéis de CLT na construção de edifícios não se trata apenas de construir utilizando um novo produto de engenharia, mas sim de uma nova tecnologia de construção inovadora, que por sua vez revoluciona o uso da madeira ao nível do sector da construção.

*This is not merely a new engineered composite product but an entirely new building technology revolutionizing the use of timber in construction. (Advanced wood product manufacturing study for cross-laminated timber, 2017, p.13)*

Actualmente há determinadas situações em que reabilitar e aproveitar a construção que já existe, torna-se mais económico e vantajoso, do que construir de raiz. A necessidade de reabilitar não deve nascer exclusivamente por causa do estado de degradação de determinado edifício, ou pela falta de salubridade no mesmo. Em boa verdade, as novas intervenções a que os edifícios devem estar sujeitos devem estar relacionadas com o facto de as suas características já não se adequarem às exigências do mercado actual, exigências essas que por sua vez estão relacionadas com o conforto térmico, acústico e também com algumas instalações específicas.

## **5.6. O FUTURO DA CONSTRUÇÃO EM CLT E NOUTROS PRODUTOS DERIVADOS DE MADEIRA**

No que diz respeito ao futuro dos painéis de CLT na construção de habitação, regista-se uma tendência em optar-se por este tipo de material no sentido de reduzir os custos de construção, uma vez que são utilizadas tecnologias construtivas de pré-fabricação e de reduzido impacto ambiental, não deixando de parte as questões de funcionalidade do edifício. Tendo em conta as premissas anteriormente enumeradas pode afirmar-se que a madeira surge como um material que possibilita conjugar todos estes factores.

São muitos os anos, ao longo dos quais se tem ganho muita experiência e conhecimento com a utilização da madeira no sector da construção, que por sua vez permitiram aferir e reconhecer os métodos mais seguros de construção, tal como ultrapassar as dificuldades nas ligações entre os vários elementos estruturais, assim como superar algumas das limitações da madeira.

Actualmente a madeira revela-se um material de elevado potencial, sobre o qual se verificou uma grande evolução nas técnicas de produção, como também no melhoramento da sua durabilidade, sendo também um material com elevado potencial arquitectónico, permitindo várias abordagens durante a fase de projecto.

## 6. REGULAMENTAÇÃO

### 6.1. ENQUADRAMENTO NORMATIVO

No sentido de eliminar barreiras à livre troca de bens e serviços, em grande parte da Europa, foram eliminados regulamentos e normas nacionais, uma vez que diferiam entre si. Desta forma foram elaborados vários regulamentos transversais a todos os países, que servem de referência e apoio relacionados com os principais materiais de construção.

Os Eurocódigos são um conjunto de normas Europeias da responsabilidade do Comité Europeu de Normalização. Através destas normas pretende-se agregar critérios e normativas de cálculo e dimensionamento de estruturas. São dez os Eurocódigos criados, que por sua vez se propõem a alcançar três objectivos comunitários, nomeadamente *servir como base de referência para contractos na Europa e outras áreas, e aumentar a competitividade da indústria de construção Europeia através do recurso a conceitos de cálculo e projecto de estabilidade avançados, nomeadamente a utilização de pinos/buchas metálicas para a fixação de entrega de uma viga lamelada a um ligador de chapa de aço, resultante do possível método de cálculo para ligações com acções laterais e por último, eliminar barreiras ao movimento de bens e serviços dentro da comunidade através de regras comuns de cálculo e design...* (ALMEIDA, 2009, p.128)

Assim sendo os Eurocódigos são documentos que têm como objectivo uniformizar critérios e normas que dizem respeito a cálculos e dimensionamento de estruturas, em toda a União Europeia, que por sua vez destinam-se à verificação da segurança de estruturas, representando uma evolução positiva no que diz respeito à regulamentação europeia.

Ainda sobre a alteração da regulamentação, especificamente ao nível da construção em madeira, até ao final do século XX, na Suécia não era permitido a utilização da madeira, enquanto material estrutural, para a construção de edifícios com mais de dois andares, verificando-se desta forma uma alteração desta situação apenas a partir de 1994, na medida em que se assiste a alterações ao nível dos regulamentos e normas relativas à segurança contra incêndios em construções em madeira.

Este tipo de regulamentos passaram de *prescriptive base* para *performance base*, o que significa que com esta alteração a regulamentação baseia-se essencialmente no desempenho dos materiais, permitindo a utilização de madeira na construção de todo o tipo de edifícios, garantindo-se apenas que o desempenho da estrutura fosse seguro em caso de incêndio. Tratando-se principalmente de edifícios construídos em madeira seria sempre possível garantir a protecção necessária à estrutura global do edifício, para que a mesma resistisse às chamas através do revestimento dessa mesma estrutura com tintas específicas, por exemplo, sendo estes os progressos que tiveram lugar em vários países nórdicos. Através desta alteração ao nível dos regulamentos verifica-se consequentemente novas oportunidades no aumento da variedade de aplicações da madeira ao nível da construção, como também se torna possível utilizar materiais combustíveis em edifícios de vários andares, mas com a condição de serem projectados e protegidos contra incêndios durante algum tempo.

*In 1994, however, the Swedish fire regulations were changed from prescriptive to performance based, thereby opening for an increased variety of applications for timber. (FALK, 2005, p.1)*

Outras situações que ocorreram também em países como a Suécia foi o facto de várias casas terem sido construídas utilizando maioritariamente madeira, o que consequentemente significa maior exploração da floresta. Assim sendo, tanto a exploração da floresta, bem como grandes incêndios que tiveram lugar, pelo facto de as casas serem construídas em madeira, despertaram a necessidade de criar regulamentação, tanto ao nível do próprio edifício, como também ao nível urbano. Com o aumento significativo da população, torna-se visível que as cidades começam a ser cada vez mais habitadas, verificando-se que é necessário obter-se regulamentação nacional ao nível do edificado, principalmente no que diz respeito ao elevado risco de incêndio, atendendo ao facto de as cidades serem constituídas por muitos edifícios construídos em madeira. Na nova regulamentação criada são limitadas as alturas dos edifícios a construir, bem como o alargamento de ruas, para facilitar acessos e diminuir a probabilidade de propagação das chamas.

## 6.2. NORMAS E REGULAMENTOS

Com a instituição dos Eurocódigos verifica-se que todos os países membros utilizarão o mesmo regulamento, como também todos os materiais aplicados na construção terão a mesma base de projecto de estabilidade. Tanto os factores de carga como as combinações de acções são aspectos que passam a ser analisados e calculados de igual modo para todos os estados membros. Logo são elaborados regulamentos construtivos com o objectivo de este se tornar num documento regulador, no sentido de proteger a vida, a saúde e o bem-estar do utilizador e do meio ambiente.

A EN 1990 *Eurocode: Basis of structural design*, comumente designado por Eurocódigo 0 indica os requisitos para a segurança estrutural, tal como a utilização, durabilidade e robustez de todos os materiais estruturais principais, determinando a base de projecto.

O Eurocódigo 1, composto por várias partes, está relacionado com as acções aplicadas em estruturas. A primeira parte sugere regras comuns para edifícios, onde é indicada uma lista de pesos próprios dos respectivos materiais de construção. Na segunda parte é abordada a capacidade de resistência ao fogo por parte dos elementos estruturais. Por fim, a terceira parte deste regulamento está relacionada com sobrecargas acidentais, decorrentes de fenómenos como os sismos, o vento, a neve.

No que diz respeito ao Eurocódigo 5: *Timber Design*, este está relacionado com a concepção de estruturas de madeira, incidindo sobre a resistência ao fogo destes elementos. Inclui um novo regulamento sobre pontes de madeira, como também estabelece os pressupostos para o dimensionamento das estruturas a construir. Este torna-se assim o documento que dirige a utilização da madeira como elemento estrutural. Com este Eurocódigo, as estruturas de madeira são calculadas da mesma forma que outros materiais estruturais. Esta situação só não se verifica integralmente, quando se torna necessário ter especial atenção às características específicas da madeira. Desta forma a madeira, o betão, o aço e a alvenaria estrutural passam a ter a mesma base e formato de cálculo, sendo também possível estabelecer uma comparação directa entre sistemas construtivos de diferentes materiais.

No Eurocódigo 5 são abordados requisitos de resistência dos elementos estruturais de madeira, bem como a sua durabilidade e aptidão ao nível das opções construtivas. Por outro lado, não são incluídos aspectos construtivos, nomeadamente as propriedades deste material, bem como as suas condições de dimensionamento e de resistência aos sismos.

Desta forma, o Eurocódigo 5 procura limitar as deformações nas estruturas de madeira, relacionadas com várias questões, nomeadamente o seu uso e aspecto, de forma a evitar, por exemplo, ondulações no pavimento, por outro lado questões funcionais, como o modo de evitar danos nos elementos não estruturais, como por exemplo em paredes divisórias e ainda questões de equipamento, relacionadas com canalizações, onde se pretende evitar o seu mau funcionamento.

Significa portanto que a verificação da estabilidade das estruturas de madeira rege-se pelos princípios gerais definidos no Eurocódigo 1, pelas acções definidas pelos projectistas, bem como pelos métodos definidos nas três partes do Eurocódigo 5. É através desta verificação que é possível regular a resistência e as condições de utilização das estruturas de madeira.

No entanto, para além dos dois Eurocódigos mencionados existem várias normas europeias que também abordam várias questões relacionadas com a utilização da madeira como material de construção, nomeadamente as propriedades mecânicas das várias classes de resistência relativamente à madeira maciça, bem como as regras para a quantificação das propriedades físicas e mecânicas, tanto da madeira maciça como de lamelados colados.

Este torna-se um processo benéfico, no que diz respeito à utilização da madeira na construção, uma vez que dá oportunidade a engenheiros e arquitectos, com menos experiência em construção de madeira, de considerar este material como solução construtiva.

### **6.3. SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS**

A partir de determinado momento os regulamentos e normas de construção começam a ter em consideração para além da capacidade de carga que uma determinada estrutura consegue suportar, o desenvolvimento e disseminação do fogo e fumo, bem como a sua disseminação para edifícios próximos e ainda a evacuação e segurança das equipas de intervenção em caso de emergência. Mais concretamente a documentação completa sobre a segurança contra incêndios menciona e tem em consideração o uso a que se destina o edifício, o potencial para a deflagração de um incêndio, a protecção da sua estrutura global contra incêndios, bem como sistemas de detecção e dispersão dos mesmos, equipamentos de combate contra incêndios, estratégias de evacuação e ainda os recursos disponíveis para o serviço de resgate.

Com o objectivo de conferir uma protecção segura e confiável contra incêndios são desenvolvidos diferentes princípios e dispositivos técnicos a aplicar nos diferentes tipos de estruturas. Os métodos para lidar com a segurança contra incêndios podem ser considerados activos ou passivos. Por exemplo, uma das formas passiva mais utilizada é a colocação de placas de gesso para cobrir a madeira contra as chamas, uma vez que as placas de gesso protegem a madeira durante a fase inicial do fogo e retardam a carbonização da madeira. As tintas protectoras são também formas passivas de proteger a madeira contra as chamas, ou ainda a utilização de janelas à prova de fogo. Por outro lado são também considerados métodos activos contra o fogo a utilização de portadas de janelas que fecham em caso de incêndio e sistemas de irrigação.

## 6.4. ESTADOS LIMITE DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA

A probabilidade que uma determinada estrutura tem de entrar em ruptura é precisamente o seu quantificador de segurança e segundo o Eurocódigo 5 esta avaliação é feita a partir da definição do que são os estados limites das estruturas que por sua vez correspondem a situações avaliadas como sendo críticas para o comportamento global da estrutura, como também é o momento em que a estrutura deixa de satisfazer as exigências iniciais estabelecidas na fase de projecto.

Como tal o cálculo da estrutura deve ser feito tendo em conta os estados limites últimos, ou seja, quando algum elemento entra em ruptura ou se encontra muito instável ao ponto de colapsar, que esteja relacionado com situações de colapso da estrutura global, ou ainda a outro tipo de rupturas estruturais que comprometam a segurança do utilizador.

Por outro lado, devem considerar-se também os estados limite de serviço da estrutura, que dizem respeito aos estados para além dos quais as condições de utilização deixam de ser cumpridas, que por sua vez foram inicialmente especificados para a própria estrutura.

Por fim, devem ser considerados também os estados limites de utilização, que assumem grande importância em projectos de estruturas de madeira, em que a deformação excessiva pode causar danos estruturais, desconforto, má aparência ou perda de funcionalidade das peças de madeira.

Significa portanto que para diferentes estados limite, o dimensionamento das estruturas deve ter em conta as diferenças relativamente às propriedades dos materiais, como por exemplo a resistência e a rigidez dos mesmos. Por outro lado, deve ser tido em consideração também o comportamento dos materiais relativamente à duração da carga a que está sujeita.

Outro aspecto relevante que deve ser tido em conta no dimensionamento das estruturas para estados limites diferentes é a influência das condições climáticas, como o caso da temperatura ou ainda as variações de humidade e por fim, as diferentes situações de projecto, que atendendo às várias fases de construção, estas implicam diferentes condições de apoio ou de ligações.



No que diz respeito às ligações entre elementos de madeira o Eurocódigo 5 aborda esta questão do ponto de vista do desempenho dessas mesmas ligações, permitindo-se assim a obtenção de valores exactos para a geometria de cada ligação, tal como a identificação do modo de ruptura de cada uma, possibilitando uma maior liberdade ao técnico.

## 6.5. CARGAS APLICADAS

Aglutinado a cada Eurocódigo está um anexo que inclui a indicação de cargas referentes a classes de duração, tipos de construção em função de classes de serviço, factores para propriedades de materiais, valores limite para a flexão, recomendações para pregagem em ligações entre peças de madeira, tal como tolerâncias de montagem.

No que diz respeito às classes de duração de cargas, estas distinguem-se entre cargas permanentes com uma duração de mais de 10 anos, como é o caso do peso próprio dos materiais; as cargas de longa duração, com uma duração até 10 anos, que estão por sua vez associadas na maior parte dos casos ao mobiliário; as cargas de média duração associadas a cargas de utilização; as cargas de curta duração, que se traduzem por exemplo no peso associado à neve e ao vento e por fim as cargas instantâneas com uma duração instantânea, como é o caso de cargas aplicadas resultantes da acção sísmica.

## **6.6. CLASSES DE SERVIÇO**

Para uma adequada utilização de materiais como a madeira, bem como para uma adequada concepção de uma estrutura concebida desse recurso natural, o Eurocódigo 5 recomenda a divisão dos materiais em classes de serviço. A classe de serviço caracteriza a estrutura no que diz respeito à combinação de dois factores, nomeadamente a temperatura e a humidade relativas ao ambiente em que a estrutura terá lugar, que por sua vez acabam por estar relacionadas com as alterações de resistência mecânica em função do teor de água presente na madeira. No geral, a classe 1 corresponde a um ambiente interior climatizado, a classe 2 diz respeito a um ambiente interior não climatizado e por fim a classe 3, que está relacionada com um ambiente exterior.

Verifica-se por isso que é através da introdução do Eurocódigo 5 e das várias normas aplicáveis à madeira e derivados, que a construção em madeira passa a ser regulamentada e normalizada na Europa, verificando-se que através de um regulamento único passa a existir uma maior facilidade na comercialização dos produtos, tal como a sua própria investigação e desenvolvimento.

## 6.7. ESTADOS UNIDOS ENQUANTO EXEMPLO REGULAMENTAR

Atendendo ao facto de nos Estados Unidos da América verificar-se uma frequente utilização da madeira enquanto material construtivo, torna-se pertinente considerar o exemplo que se encontra em vigor neste país, que está relacionado com a existência de um documento, nomeadamente o *International Building Code* (IBC), que por sua vez representa uma combinação dos vários regulamentos existentes ao nível deste mesmo país. É portanto através deste documento que se consegue obter uma maior uniformidade regulamentar em todos os seus estados. Esta necessidade surge porque os vários intervenientes da construção começaram a identificar uma necessidade de uniformizar o conteúdo e o formato destes regulamentos, com o objectivo de melhorar e facilitar as dificuldades impostas aos construtores, ao comércio de produtos de construção e mesmo aos projectistas.

A partir do regulamento IBC é feita uma classificação das edificações segundo o sistema construtivo utilizado, onde são considerados cinco tipos de construção. As construções do tipo I e II, que por sua vez são construções em que os sistemas construtivos são de materiais incombustíveis, na medida em que o tipo I diz respeito precisamente ao betão e ao aço. No tipo de construções III as suas paredes exteriores são constituídas por material incombustível, no entanto as paredes interiores poderão ser de qualquer outro material. As construções tipo IV são as construções de madeiramentos de grandes dimensões (*heavy timber*) e as que têm as paredes exteriores de material incombustível. Por fim, do tipo V são as construções em que os elementos de estrutura construtiva são de qualquer material permitido (*Light-framing*). Neste caso a construção pode ser executada de duas formas, nomeadamente sem resistência ao fogo ou com uma resistência de uma hora.

Ao longo dos últimos anos, graças a vários factores, assiste-se a um crescente interesse, por parte da comunidade técnica, em utilizar materiais provenientes da madeira no sector da construção, nomeadamente com o objectivo de utilizá-los enquanto elementos estruturais. Os factores anteriormente referidos estão relacionados com alterações que ocorreram ao nível de normalização e certificação, tal como um novo estímulo à formação de técnicos aptos a construir com este tipo de sistemas construtivos.

Por sua vez, este mecanismo de implementação de regulamentação permitiu que a construção de edifícios, em termos gerais, satisfizesse os requisitos essenciais durante o seu período de vida útil, principalmente no que diz respeito à resistência mecânica dos materiais construtivos utilizados, à sua estabilidade e segurança face à deflagração de incêndios, segurança na sua utilização, como também ao nível da saúde e conforto para o utilizador.

## 6.8. O CASO DE PORTUGAL

Em Portugal, ao nível da regulamentação verificou-se apenas algumas publicações realizadas pelo LNEC, que por sua vez não tinham como principal objectivo regular e orientar o dimensionamento e estabilidade das estruturas de madeira. Esta lacuna é atenuada com a adopção do EC5, com a contemplação neste regulamento da madeira enquanto material estrutural.

Em Portugal, o Eurocódigo 5 permitiu a criação de um conjunto de normas de suporte para a utilização de produtos derivados de madeira. Por sua vez possibilitou que, por um lado existisse uma regulamentação dedicada especificamente para produtos de madeira e que por outro lado, estes produtos provenientes da madeira, fossem dimensionados e aplicados à semelhança do que o já acontece com outros materiais construtivos mais comuns, como o betão armado e o aço, que por sua vez são materiais que se enquadram num registo de dimensionamento comum.

Este novo regulamento criado, o Eurocódigo 5 foi aplicado ao nível da maior estrutura lamelada concebida em Portugal, nomeadamente o Pavilhão Atlântico. Este foi o projecto estrutural concebido em madeira, que demonstrou ser possível utilizar a madeira como um material construtivo nobre ao nível do sector da construção, tornando visível as possibilidades que estruturas lameladas nos permitem alcançar na criação de espaços.

Os regulamentos criados são documentos normativos que foram elaborados com o objectivo de facilitar a utilização de materiais de construção provenientes da madeira, sem que seja necessário por parte do projectista um estudo exaustivamente aprofundado sobre este material, possibilitando também ao sector industrial da madeira fornecer de uma forma mais rápida e eficaz, os produtos pretendidos de acordo com critérios e normas claras pré-estabelecidas.

## 7. DESENVOLVIMENTO DE PROJECTO:

### APLICABILIDADE DOS PAINEIS DE CLT NUM EDIFÍCIO DE MÉDIA DENSIDADE

#### 7.1. ARQUITECTURA

A essência da arquitectura está muito relacionada com o facto de esta ser uma disciplina multifacetada, o que por sua vez significa que esta é uma área que contém em si e ao longo do seu processo de trabalho, vários sectores aos quais se deve dar a mesma relevância, nomeadamente a estrutura do edifício, as suas instalações, bem como a escolha dos materiais e o tratamento a aplicar nos mesmos. Significa portanto, que para um determinado edifício funcionar adequadamente, ou seja, para que a arquitectura funcione correctamente é necessário que todas essas áreas que estão integradas na disciplina da arquitectura sejam trabalhadas todas de igual forma e ainda desenvolvidas de forma interactiva.

*Theoretically, architecture can be described as a circle consisting of different sectors, which can be labelled e.g. structure, installations, layout, choice and treatment of materials. (FALK, 2005, p. 9)*

A arquitectura acaba por ser a arte de construir, ou seja o resultado físico de um processo criativo, que por sua vez implica a coordenação de diferentes partes físicas e as suas relações, sobre as quais o resultado é mais do que a soma dessas partes. Para o arquitecto os espaços têm origem na acção da construção, na medida em que a estrutura física é entendida como algo que sustenta a função do espaço em si criado, ou seja, um edifício sem função acaba por perder grande parte do seu significado arquitectónico. Na realidade, o trabalho de um arquitecto está muito relacionado com a capacidade de gerar uma visão geral de todo o projecto e de preencher a lacuna entre o que é e o que ainda não é realidade física, através da projecção de um qualquer ambiente construído. Ou seja, o trabalho de um arquitecto passa por gerar uma proposta de algo para preencher um vazio e atender a uma necessidade. Em boa verdade, o desenho arquitectónico acaba por ser uma imagem de algo que ainda não existe.

A arquitectura como forma de arte manifesta-se inclusivamente na medida em que o seu significado aparece quando se tornam visíveis os seus aspectos estéticos e práticos, funcionando em conjunto e pertencentes a um todo de forma inseparável.

*Architecture is not purely art. It is primarily a functional sustainable result of design with aesthetical awareness, a composition of a great number of parts. In a sense it is a system of pieces and like a puzzle the system/picture is incomplete until the last piece is put in place. (FALK, 2005, p.20)*

Neste sentido pode considerar-se que as partes e o todo de um determinado edifício são igualmente importantes. De forma geral, a arquitectura diz respeito a uma estrutura construída, bem como à sua função técnica, a sua utilidade, as suas qualidades estéticas, o seu impacto ambiental e ainda ao seu espaço fechado, fazendo a ponte entre a arte e a tecnologia.

Do ponto de vista físico e visual a arquitectura é composta pelas várias partes do edifício, bem como pelas formas geométricas que o mesmo edifício adquire, os seus materiais aplicados e ainda texturas e cores. Relativamente às diferentes partes do edificado existem diferentes abordagens a considerar na elaboração das mesmas, tornando-se por isso possível combiná-las de diferentes formas. Assim sendo, ao trazer ao de cima uma determinada ordem visual, ou até mesmo funcional está a levantar-se a questão de qual a linguagem arquitectónica a atribuir ao edificado, enaltecendo-se determinadas características, bem como a expressão formal da sua estrutura.

Por sua vez, um determinado estilo ou linguagem arquitectónicas muitas das vezes são encarados como fenómenos sem grande importância e significado prático para a execução do edifício, considerados até como manifestações de ambição por parte do arquitecto. No entanto, poderá não ser assim tão linear, na medida em que os estilos crescem a partir de pré-requisitos e características dados pelos próprios materiais e técnicas associadas aos mesmos.

Na realidade, a definição de arquitectura, bem como o seu significado dependem também de convenções e tradições em vigor, ou seja acabam por ser influenciados pelo contexto social, pela cultura de determinado local e ainda por estruturas arquitectónicas de referência.



O trabalho arquitectónico acaba por ser influenciado também por mudanças que se verificam ao longo do tempo e pelo contexto social, económico e político de determinada época e local. Desta forma podemos olhar para a arquitectura como uma manifestação social, ou até como um símbolo de uma determinada cultura e sociedade. Na realidade, a arquitectura contém em si uma potencial função de se expressar, por exemplo através de gestos políticos, ou ainda através da consciência ambiental, passando uma determinada mensagem ou significado.

## 7.2. AMBIENTE INTERIOR

A qualidade do ambiente interior criado, bem como a qualidade do edifício no geral está directamente relacionada com os materiais utilizados, os tratamentos aplicados ao nível das superfícies e ainda com a própria qualidade dos acabamentos da construção. Existem inúmeros aspectos que afectam o conforto e a utilidade dos edifícios construídos, nomeadamente as condições de luz, a reflexão da mesma, qualidades acústicas e tácteis das superfícies, a humidade presente no ar e ainda as condições climáticas relacionadas com a temperatura ambiente do próprio ar e das superfícies.

Ainda na fase do projecto de arquitectura é importante ter em conta as experiências sensoriais, relacionadas por exemplo com a temperatura ambiente, na medida em que o clima que se faz sentir no interior do edifício afecta fortemente a nossa sensação de bem-estar. Por exemplo, se sentimos frio tentamos aumentar a temperatura através de um qualquer mecanismo, por exemplo, uma lareira ou um aquecedor, o que significa que consoante a escolha e as medidas utilizadas para atingir o bem-estar pretendido, estas vão ter como consequência um impacto económico. Assim sendo, projectar um determinado edifício atendendo a um clima interior agradável, torna-se economicamente e ambientalmente mais apelativo e também mais relevante.

Quando se fazem sentir mudanças rápidas de temperatura e de humidade presente no ar estas são circunstâncias que se farão sentir imediatamente, consideradas inclusivamente não tão confortáveis, o que significa que se torna importante considerar a escolha de um material com a capacidade de nivelar as oscilações da temperatura e da humidade presente no ar, durante um período de 24 horas, proporcionando o máximo possível um clima interior confortável, tendo em consideração também um menor consumo de energia possível, atingindo-se assim uma boa economia no que diz respeito ao ciclo de vida do edifício.

A variação da humidade e da temperatura têm um grande efeito no conforto sentido no interior do edifício, bem como na saúde do utilizador e ainda no consumo de energia necessário para regular esse conforto. Como tal a madeira acaba por se tornar num material possível de ser aplicado para cumprir com todos os requisitos anteriormente mencionados, na medida em que com a sua capacidade de armazenamento tanto de calor como de humidade, evita a utilização em excesso de sistemas de aquecimento, ou até mesmo de arrefecimento.

As suas propriedades higroscópicas conferem à madeira a capacidade de absorver e libertar a humidade presente no ar, o que significa que a madeira pode absorver e deixar sair a humidade em ciclos bastante longos, não deixando que a humidade atravesse a parede de dentro para fora, mas sim devolvendo-a ao ar interior.

*Hygroscopic properties of the material give timber the ability to absorb, buffer and desorb moisture. The timber can take up and let out moisture in quite long cycles, not letting moisture through the wall from inside to outside but returning it to the indoor air. (FALK, 2005, p.87)*

Por sua vez, a relação entre o calor e a humidade presentes na estrutura do edifício, bem como no seu interior dependem também do tratamento aplicado ao nível da superfície da madeira.

### 7.3. LOCAL DE INTERVENÇÃO

Ao longo da cidade de Lisboa pode encontrar-se diversas linguagens ao nível da arquitectura dos edifícios, consoante a zona da cidade em que nos encontramos. Neste caso, o trabalho desenvolve-se numa das zonas mais características e emblemáticas da cidade, relativamente próxima da zona ribeirinha, junto ao rio Tejo, com vista para a ponte 25 de Abril, muito próximo de Belém.



**Figura 85 – Área de intervenção**

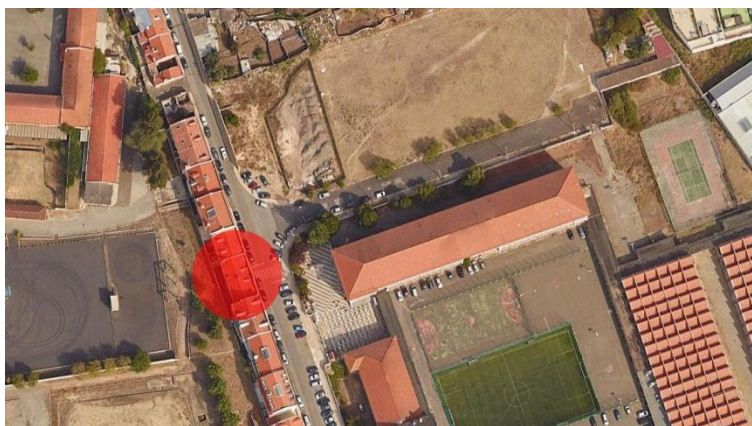
Mais precisamente a rua Alexandre Sá Pinto caracteriza-se por ser uma rua tipicamente Lisboaeta, atendendo às suas características arquitectónicas, com pouca circulação pedonal e viária. Os edifícios predominantes são vocacionados para a habitação de média densidade, onde se podem encontrar edifícios de apenas rés-do-chão e 1º andar, como também edifícios até 3 pisos.

Por outro lado, nas ruas da envolvente próxima predominam também edifícios destinados a habitação, mas onde já se faz sentir mais movimento, graças ao comércio tradicional que existe, com uma relação muito imediata com a rua.

No que diz respeito ao tipo de construção que se encontra na rua mencionada, verifica-se que são predominantes edifícios construídos em alvenaria, em que os revestimentos das fachadas podem ser executados por meio da aplicação de tintas, ou através da aplicação de azulejos, aspecto também característico e típico da construção em Lisboa. São edifícios com aberturas que seguem uma métrica regular e regrada, com coberturas predominantemente de duas águas e na maioria das vezes com janelas de mansarda.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi considerada uma intervenção no edifício que corresponde ao N°131 da rua Alexandre Sá Pinto. Actualmente a construção presente no local está devoluta e apresenta um estado de degradação considerável. É um edifício de rés-do-chão e 1º andar, com águas furtadas, em que a Este do mesmo se encontra a escola Marquês de Pombal e a Oeste o Regimento de Lanceiros N°2.

Foi escolhido este lugar uma vez que é representativo de um tipo de construção típica da cidade de Lisboa, no qual se considera fazer sentido proceder a uma intervenção com o objectivo de se verificar a viabilidade da aplicação do sistema construtivo em estudo, que utiliza os painéis de madeira de CLT. Por outro lado, ao optar por intervir neste tipo de construção está a avaliar-se uma situação que poderá ser recorrente ao nível da cidade, ou seja, se percorrermos por exemplo a cidade de Lisboa, iremos encontrar vários edifícios devolutos, ou a precisar de ser requalificados, pelo que se considera pertinente aplicar este tipo de solução através de painéis de CLT, uma vez que é uma solução versátil, simples de utilizar e que pode ser aplicada juntamente com outro tipo de materiais, tal como será exemplificado nos capítulos seguintes.



**Figura 86 – Edifício a reabilitar**

#### 7.4. TRANSPORTE DOS PAINÉIS DE CLT AO LOCAL DA OBRA

No que diz respeito ao transporte dos painéis de CLT até ao local da obra deve ter-se em conta a sua logística, na medida em que o tipo de veículo irá condicionar a dimensão das peças de madeira. Na realidade os painéis de CLT podem ser fabricados em praticamente qualquer dimensão, no entanto o camião escolhido irá condicionar o tamanho dos mesmos em função da sua carroçaria.

Por outro lado, uma vez que se trata de um camião que fará o transporte das placas de CLT, ao longo do seu percurso até ao local da obra devem ter-se em conta alguns aspectos, que por sua vez poderão condicionar a sua chegada ao local. Desta forma significa que deve planear-se o trajecto do transporte de modo a evitar-se ruas muito estreitas, uma vez que o camião poderá não ter brecagem suficiente para efectuar manobras e por outro lado outra das condicionantes está relacionada com a existência de eventuais pontes, presentes ao longo da cidade, essencialmente pedonais, que poderão não ter altura suficiente para deixar passar um veículo com dimensões consideráveis.

No caso específico do transporte dos painéis de CLT até à rua Alexandre de Sá Pinto foi considerado um veículo pesado de mercadorias, de monobloco, com uma carroçaria com dimensões 7m de comprimento, 2,20m de largura e 3m de altura.



**Figura 87 – Montagem de painéis de CLT**

<http://www.gebco.pl/clt-system-litego-drewna.html>



**Figura 88 – Transporte de painéis de CLT até ao local da obra**

<http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/>



**Figura 89 – Transporte de elementos construtivos**  
<http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/>

Transportar painéis neste tipo de veículos torna-se assim simples e prático na medida em que é possível transportar várias peças de uma só vez, ou até inclusivamente podem ser transportados módulos pertencentes à construção pré-fabricados. Significa portanto que uma das preocupações que se coloca é a sua montagem no local, com mão-de-obra qualificada para seguir as indicações de montagem dadas pelo fabricante, utilizando meios e ferramentas para levantar as peças de madeira, como por exemplo gruas, de modo a coloca-las no lugar correcto, bem como para efectuar as ligações necessárias entre as mesmas. Ao assegurar o sucesso de todo este processo de montagem garante-se que este é um tipo de construção já em contexto de obra seguro, relativamente simples e rápido, principalmente porque não é necessário esperar que os materiais sequem, não provoca muito ruído, não produz pó e não gera muitos resíduos e desperdício de material.

Relativamente ao trajecto que o veículo terá que fazer até chegar ao local da obra foram considerados quatro percursos alternativos, colocando-se a hipótese do fabricante estar sediado tanto na região Norte, como a Sul do país.

Se for considerado que o veículo transporta a mercadoria vinda do Norte existe a possibilidade de chegar a Lisboa tanto pelo Eixo Norte/Sul, como pela auto-estrada A1 Norte. Ao terminar qualquer um destes trajectos passa pela Av. De Ceuta, fazendo a ligação para a Av. Da Índia, que num dos seus cruzamentos com semáforos, volta para a rua da Junqueira, junto ao Hospital Egas Moniz. Ao seguir a rua da Junqueira sempre em frente no sentido de Belém, a determinada altura, encontram-se outros semáforos, que fazem a ligação com a rua Alexandre de Sá Pinto. Neste momento o veículo pesado terá de voltar à direita, fazendo uma parte do trajecto até chegar ao edifício em questão, em contramão.

Relativamente aos restantes trajectos considera-se que o camião virá do Sul do país.

Uma das alternativas será chegar a Lisboa pela ponte 25 de Abril, tomando a primeira saída depois da ponte, em direcção a Belém. Depois de sair da ponte chega aos semáforos da Av. de Ceuta, tomando a partir daí o mesmo percurso anteriormente mencionado, desde a Av. da Índia até à rua Alexandre Sá Pinto.

Se chegar a Lisboa pela ponte 25 de Abril terá ainda outra opção, que por sua vez implica optar pela saída em direcção a Monsanto, para a A5. Depois de percorrer o trajecto da A5, chega à primeira rotunda, onde opta pela 3ª saída, em direcção à Ajuda. Na 2ª rotunda opta pela 2ª saída para a Estrada do Penedo, novamente em direcção à Ajuda. No fim do percurso, encontra novamente outra rotunda junto do Polo Universitária da Ajuda, em que escolhe sair na 3ª saída, para a estrada de Queluz. De seguida segue para a calçada da Ajuda, passando pelo palácio da Ajuda, mais à frente volta na rua Bica do Marquês e de seguida para a rua Dom Vasco. Na rua Dom Vasco, volta à esquerda junto ao supermercado da Boa Hora, fazendo o trajecto na faixa dos autocarros até chegar à calçada da Boa Hora, onde junto da funerária volta à direita, passando pela farmácia situada na rua dos Quartéis. Este troço da estrada terá inclusivamente de ser percorrido em contramão até chegar à rua Alexandre Sá Pinto.

Por último, se for considerada a chegada da mercadoria pela ponte Vasco da Gama, percorre-se a mesma até ao fim, até chegar à 2ª circular. Faz-se todo o trajecto da 2ª circular sempre em frente, optando pela saída para Monsanto. A partir de Monsanto toma-se o mesmo trajecto anteriormente descrito.

São descritos os vários trajectos possíveis no sentido de se demonstrar que ao longo dos mesmo não se encontram condicionantes à passagem de um veículo pesado até chegar à rua Alexandre Sá Pinto, no entanto, à medida que há uma aproximação ao local pretendido sente-se a necessidade de percorrer pequenos troços das ruas em sentido contrário, uma vez que as ruas mais próximas do local de intervenção são cada vez mais estreitas.



**Figura 90 – Manuseamento de materiais de construção**

<http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/>



## 7.5. COMPARAÇÃO ENTRE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Ao longo deste subcapítulo serão abordados aspectos relacionados com questões técnicas e de sustentabilidade relacionadas com a construção utilizando o betão armado como sistema construtivo, em comparação com a utilização dos painéis de CLT.

Na realidade, actualmente é recorrente utilizar-se o betão armado como sistema construtivo, é na verdade um tipo de construção que já é considerado como sendo tradicional, tanto em edifícios de concebidos de raiz, como também ao nível da reabilitação, logo poder-se-á afirmar que é sabido *a priori* que essa solução construtiva, aplicada na construção/reabilitação do edifício a considerar na rua Alexandre de Sá Pinto, será viável e tecnicamente possível, quando concebida correctamente.

Uma vez que se considera a solução construtiva em betão armado viável, essa solução foi utilizada como termo de comparação com os painéis de CLT, que se pretende aplicar nesse mesmo edifício da rua Alexandre Sá Pinto.

Comparando uma solução tradicional, que utiliza o betão como o material principal, com uma outra solução construtiva mais actual e que não é utilizada com tanta frequência, irá permitir entender-se se a estrutura de madeira que se pretende construir efectivamente é possível e vantajosa ou não.

### 7.5.1. Solução tradicional: betão armado

A utilização do betão armado surge pela necessidade de conjugar a durabilidade da pedra, bem como a sua resistência à compressão, juntamente com as características do aço e ainda a sua capacidade de resistência à tracção. Este sistema construtivo, na realidade pode ser utilizado como material estrutural nas mais diversas situações da construção civil, nomeadamente edifícios com várias funções, obras de saneamento, barragens, pontes.

No entanto, para um bom desempenho de uma estrutura de betão armado não basta conjugar estes dois materiais, é também necessário garantir aderência entre ambos, ou seja, a capacidade de resistir a cargas aplicadas tem de se verificar que é realizada em conjunto pelos dois materiais.

Se esta situação não se verificar, o que acontece é que o aço consegue resistir a uma determinada quantidade de tensão de tracção muito superior do que o betão. Se assim for, significa que o betão vai entrar em ruptura primeiro que o aço, uma vez que não consegue suportar esses mesmos valores mais elevados. Em boa verdade, esta combinação entre estes dois materiais é possível, uma vez que o valor de coeficiente de dilatação térmica dos dois materiais é quase o mesmo.

#### **7.5.1.1. Vantagens e desvantagens**

No que diz respeito às vantagens da utilização do betão armado podem ser enumeradas várias, com valor tanto construtivo como também valor económico, no entanto quando se trata da sua avaliação face a questões de sustentabilidade, verifica-se que este é um sistema construtivo que levanta diversos problemas.

Este é um sistema construtivo muito durável ao longo do tempo, desde que devidamente concebido e sujeito a pequenas acções de manutenção. Torna-se resistente a quase todo o tipo de tensões aplicadas, principalmente quando sujeito a esforços normais de compressão. Por outro lado, na aplicação de esforços normais de tracção, este sistema construtivo garante resistência a esse tipo de forças, uma vez que o betão é conjugado com o aço, que por sua vez confere maior resistência aos esforços de tracção do que o betão.

Outras vantagens que podem também ser mencionadas são o facto de o betão não ser um material combustível, protegendo inclusivamente o aço no seu interior tanto das chamas como da corrosão, pode facilmente assumir diversas formas ao nível da construção e ainda o facto de ser considerado um material impermeável quando aplicado na construção correctamente.

Por outro lado é um dos sistemas construtivos mais utilizados no sector da construção em Portugal, o que significa que ao longo de várias décadas foi adquirida experiência e conhecimento técnico com a aplicação deste material, o que deixa os vários intervenientes ao nível da construção mais seguros ao optar por este tipo de soluções, nomeadamente investidores, arquitectos, proprietários.

Verifica-se ainda que tem um custo de produção associado significativamente mais reduzido, ou seja, a sua matéria-prima, o cimento, não tem um custo muito elevado, quando comparado com outros sistemas construtivos mais actuais e inovadores, menos utilizados em Portugal, como por exemplo estruturas em madeira.

Por último torna-se também relevante referir que este é um tipo de construção que não requer mão-de-obra qualificada, uma vez que é um material que não necessita de equipamentos especializados e ainda que a sua preparação é simples, bem como o seu transporte e manuseamento.

No que diz respeito às desvantagens do betão armado enquanto sistema construtivo verifica-se que este é um tipo de construção que em determinadas circunstâncias se revela muito pesada, tanto em construções feitas de raiz, como também quando se trata da remodelação e reabilitação de edifícios já existentes. Torna-se também uma solução muito invasiva e que em algumas circunstâncias, para além do peso acrescentado à construção existente, aumenta também a espessura dos elementos construtivos.

O aparecimento de fissuras nas construções de betão armado é também uma questão que suscita desconforto ao nível da construção. No entanto, esta acaba por se torna numa situação quase inevitável, uma vez que essas fissuras são resultado do trabalho mecânico realizado pelo aço, ao resistir às tensões aplicadas.

São enumeradas ainda outras diversas desvantagens no que diz respeito a este sistema construtivo, que por sua vez constituem preocupações levantadas ao longo deste trabalho, às quais se considera ser necessário atribuir-se especial atenção. O betão armado é na realidade um sistema construtivo muito poluente, que não preenche diversos requisitos relacionados com a sustentabilidade da construção e com a diminuição de gases poluentes para a atmosfera.

Em boa verdade, o betão não proporciona bons níveis de isolamento térmico e acústico, o que por sua vez influencia substancialmente o conforto habitacional. Tal como mencionado em capítulos anteriores, este aspecto tem influência directa no consumo de energia necessária para manter o espaço construído confortável. Significa portanto que quanto mais energia for necessária despender menos será possível reduzir-se na emissão de gases poluentes para a atmosfera.

Verifica-se também que o betão trata-se de um tipo de material difícil e dispendioso de demolir e que produz muitos resíduos quer ao longo da sua concepção, bem como durante a sua demolição.

Por outro lado, o betão é também considerado um material poluente, uma vez que implica a extracção dos seus materiais constituintes do meio ambiente, sem se garantir a restituição dos mesmos. Tanto a extracção dos seus componentes, como a manipulação dos mesmos e ainda o seu transporte são sinónimos de um contributo significativo, no que diz respeito ao aumento da emissão de gases poluentes para a atmosfera, como por exemplo o dióxido de carbono.

#### **7.5.2. Solução estudada ao longo do trabalho: Painéis de CLT**

Tal como mencionado em capítulos anteriores os painéis de CLT são placas de madeira que se baseiam num processo de colagem de várias camadas de tábuas, dispostas ortogonalmente entre si. É precisamente essa configuração cruzada das lamelas de madeira que se traduz numa vantagem presente neste sistema construtivo, característica essa que permite atingir capacidades de resistência e rigidez mais elevadas. O facto de estes painéis serem constituídos por diversas camadas está relacionado com uma questão de optimização e melhor desempenho da estrutura, isto porque os painéis de CLT por si só têm a função de elemento estrutural.

O modo como são fabricados este tipo de painéis de madeira faz com que o edifício construído com este sistema construtivo permita diversas soluções ao nível do projecto arquitectónico, se torne mais estável e firme, bem como termicamente mais isolado, com o objectivo de garantir um ambiente mais confortável para o utilizador.

Relativamente ao funcionamento estrutural destes elementos de madeira, estes comportam-se como placas, sendo a transmissão das cargas aplicadas feita bidireccionalmente, ou seja, apenas um painel estará apto a garantir caminhos ao transporte de forças até às fundações, em duas direcções.

#### 7.5.2.1. Vantagens e desvantagens

Quando comparado com o sistema construtivo em betão armado, os painéis de CLT apresentam algumas desvantagens, principalmente relacionadas com questões técnicas, porque quando se trata de questões ambientais a madeira apresenta razões muito relevantes para que seja considerada a sua aplicação ao nível da construção.

Actualmente verifica-se que existe pouca indústria neste sector para dar resposta a uma utilização mais intensiva destes painéis, o que por consequência acaba por fazer com que o preço seja pouco competitivo. Outro factor que também poderá contribuir para um aumento do preço destes painéis de madeira é o facto de os mesmos implicarem um trabalho de pré-fabricação de alta precisão. Por outro lado, a pouca experiência na utilização deste material, significa que o estado de conhecimento e de aplicabilidade deste sistema construtivo é muito embrionário.

O facto de a madeira ser um material combustível causa algum desconforto e insegurança perante os seus utilizadores, como também o facto de existir o risco de colapso progressivo da própria estrutura. Neste sentido, para diminuir esse risco torna-se pertinente a concepção de um reforço estrutural.

Quando se trata da utilização da madeira como principal material estrutural deve sempre evitar-se o contacto directo com a água ou a humidade, nomeadamente ao nível das fundações por motivos de capilaridade.

Relativamente às vantagens associadas à aplicação dos painéis de CLT estas verificam-se tanto ao nível técnico, como também no que diz respeito a questões de sustentabilidade e eficiência energética.

A construção em madeira é na realidade um tipo de construção leve, tanto em construções de raiz como ao nível da reabilitação de edifícios já existentes. Também por ser um material leve e fácil de manusear, acaba por contribuir para uma rápida, eficaz e segura montagem em obra, sem emissão de muito ruído e sem produção de resíduos, uma vez que as peças já vêm cortadas directamente da fábrica. Quanto à sua utilização na reabilitação de edifícios esta é uma solução simples, rápida e pouco invasiva.

Uma das vantagens que se torna muito interessante na aplicação deste sistema construtivo com painéis de CLT é o facto de ser possível demonstrar-se facilmente um determinado edifício no fim da sua vida útil, podendo inclusivamente reaproveitar-se as peças de madeira constituintes do mesmo e dar-lhes uma nova utilização, ou seja, significa que a madeira pode ser considerada um material reciclável.

Por sua vez, a durabilidade deste tipo de construções está directamente dependente do tipo e da frequência com que são feitas as devidas manutenções.

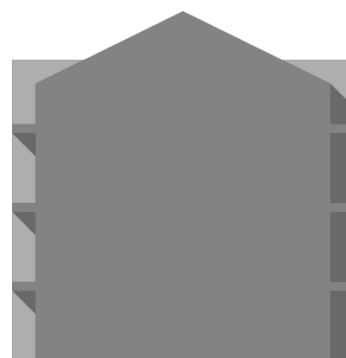
Quanto às vantagens da aplicação deste sistema relacionadas com as questões ambientais salientam-se o facto de a madeira proporcionar bons níveis de isolamento térmico e acústico, o que por sua vez representa maior conforto para o utilizador do edifício. Consequentemente ao garantir-se menos consumo energético com a utilização do edifício significa que será necessário dispendir menos energia e aquecê-lo e arrefecê-lo, logo este será um aspecto que contribuirá para a diminuição de gases poluentes.

Assim sendo pode concluir-se que quanto mais madeira se utilizar ao nível da construção maior será o contributo deste sector na redução da emissão de gases poluentes, nomeadamente dióxido de carbono. Isto porque por um lado a madeira tem capacidade de reter e armazenar CO<sub>2</sub> ao longo do seu período útil de utilização, por outro lado, ao contrário do que se pensa, a verdade é que se são abatidas uma determinada quantidade de árvores para utilização da sua madeira na construção, na realidade pode ser novamente plantada a mesma quantidade de árvores para repor as anteriores, ou seja, significa que a madeira tem características renováveis.

### **7.5.3. Apresentação de várias soluções possíveis, no sentido de avaliar a viabilidade dos painéis de CLT quando comparados com o betão armado**

#### **7.5.3.1. Solução A**

A primeira hipótese colocada terá como objectivo a demolição do edifício existente, partindo do pressuposto que a construção existente não tem valor arquitectónico. Neste sentido é proposto a construção de um edifício de raiz totalmente concebido com painéis de CLT.



**Figura 91 – Solução A: Edifício construído de raiz**



Figura 92 – SOLUÇÃO A: Perspectiva Rua Alexandre Sá Pinto – Alçado principal



Figura 93 – SOLUÇÃO A: Modelo 3D, alçado principal

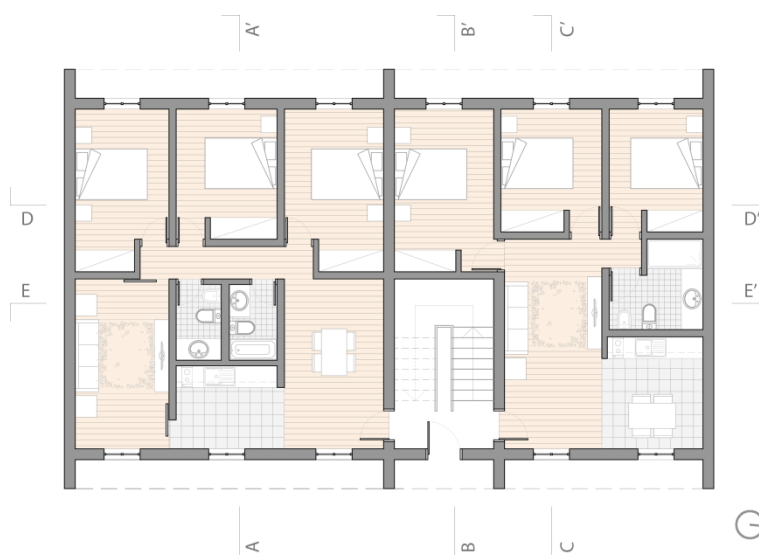


Figura 94 – SOLUÇÃO A: Planta Piso Térreo



Figura 95 - SOLUÇÃO A: Modelo 3D, alçado posterior

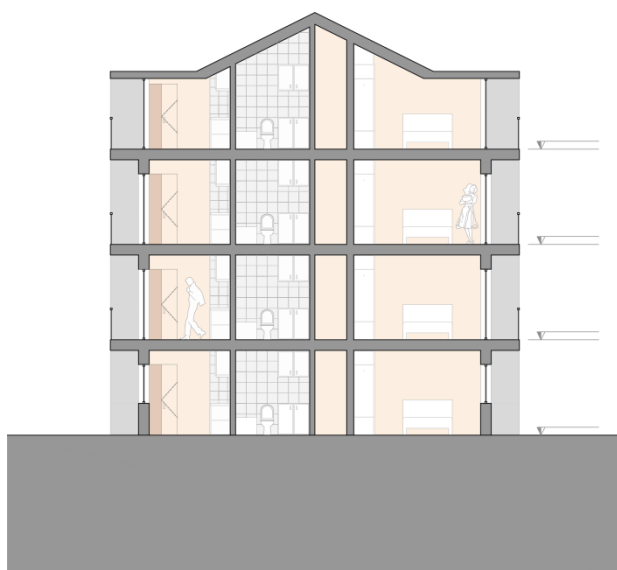


Figura 97 – SOLUÇÃO A: Corte A:A'

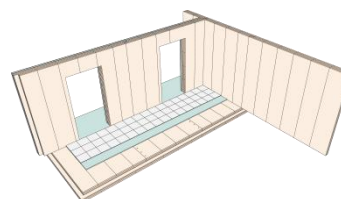


Figura 96 – SOLUÇÃO A: Pormenor construtivo

### 7.5.3.2. Solução B

A segunda hipótese de intervenção que se coloca pressupõe manter a parede de alvenaria da fachada principal do edifício existente, uma vez que se trata de uma característica que retrata o tipo de arquitectura na cidade de Lisboa. Desta forma propõe-se a construção de um novo edifício utilizando os painéis de CLT, na medida em que a parede de alvenaria é um elemento pertencente à construção global do edifício, o que implica a colocação dos painéis de CLT em cima da parede de alvenaria que se manteve. A construção com painéis de CLT em cima da parede antiga torna-se uma solução viável, uma vez que estes elementos construtivos de madeira são uma solução construtiva leve.



Figura 99 - SOLUÇÃO B: Perspectiva Rua Alexandre Sá Pinto – Alçado principal



Figura 98 – SOLUÇÃO B Modelo 3D: Edifício construído com painéis de CLT mantendo parede existente de alvenaria

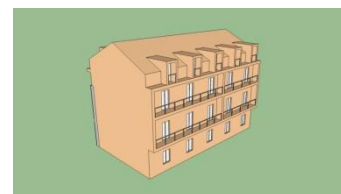


Figura 100 – SOLUÇÃO B Modelo 3D: Edifício construído com painéis de CLT mantendo parede existente de alvenaria

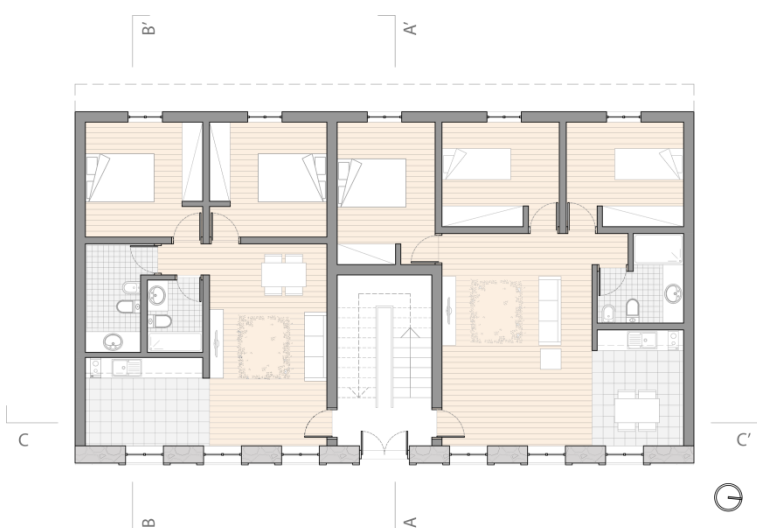


Figura 101 – SOLUÇÃO B: Planta Piso Térreo

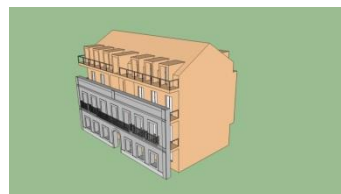


### 7.5.3.3. Solução C

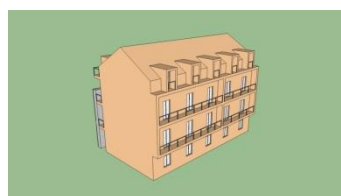
Por fim, outra intervenção possível será a construção de um novo edifício em CLT, mantendo também a parede antiga de alvenaria, mas desta vez pretende-se criar um afastamento entre a construção e a fachada já existente, obtendo-se uma espécie de varanda, ou seja, uma fachada dupla de alvenaria e CLT.



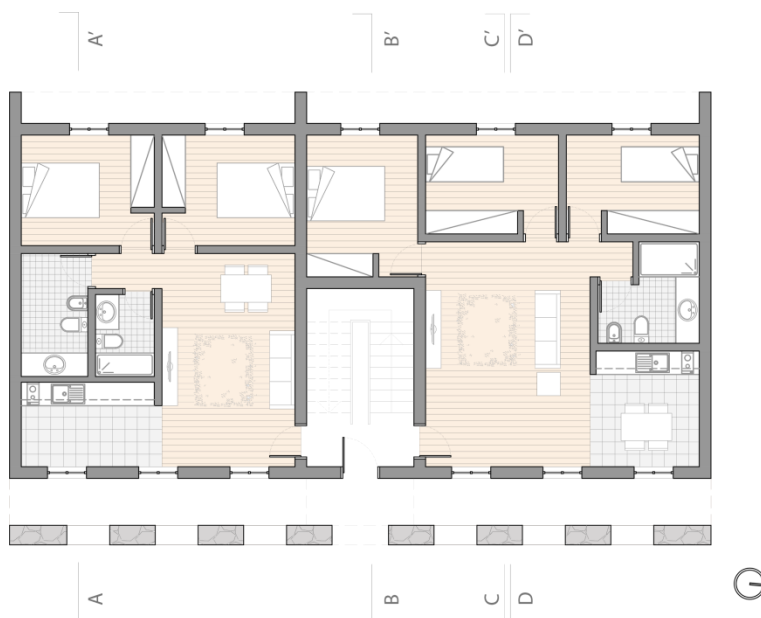
**Figura 103 - SOLUÇÃO C: Perspectiva Rua Alexandre Sá Pinto – Alçado principal**



**Figura 102 –SOLUÇÃO C Modelo 3D: Edifício construído com painéis de CLT mantendo a parede existente de alvenaria**



**Figura 104 – SOLUÇÃO C Modelo 3D: Edifício construído com painéis de CLT mantendo a parede existente de alvenaria**



**Figura 105 – SOLUÇÃO C: Planta Piso Térreo**

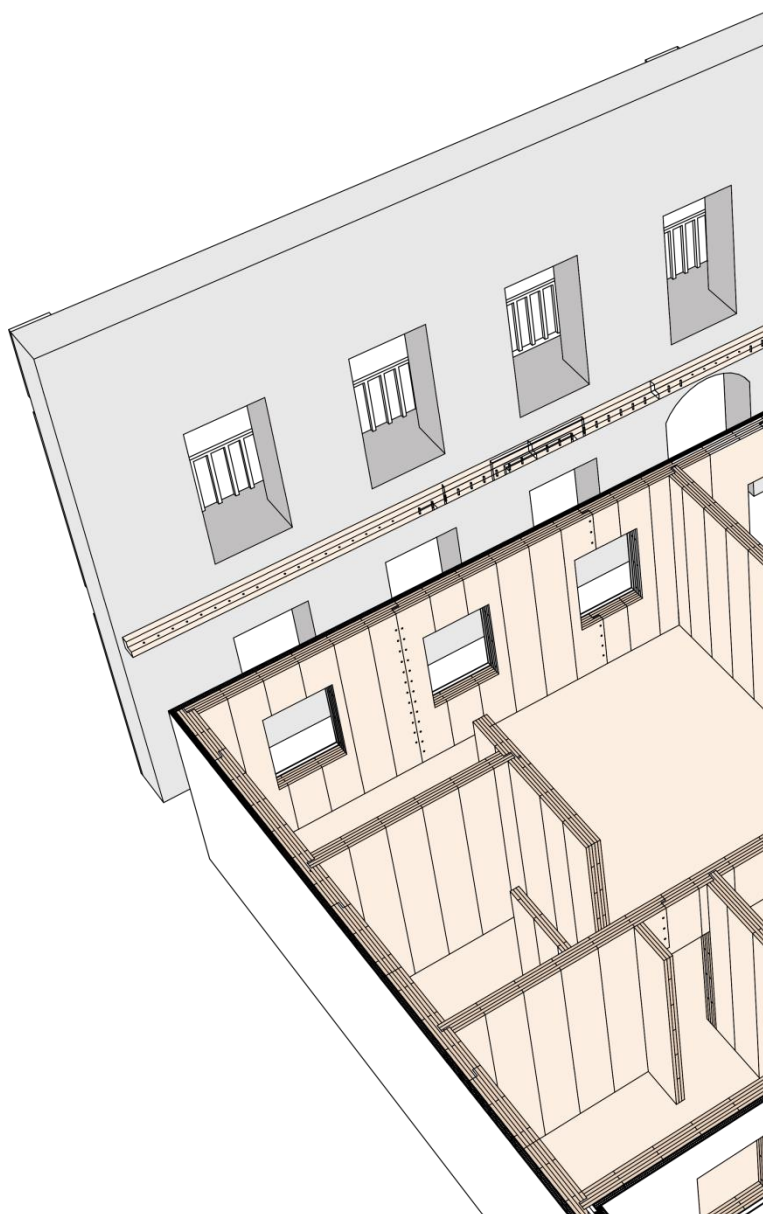


Figura 106 – SOLUÇÃO C: Perspectiva

## 8. CONCLUSÃO

Ao longo dos últimos anos, no que diz respeito ao sector da construção, assiste-se a uma procura no sentido de desenvolver e apresentar soluções construtivas para uma habitação de custos reduzidos e mais eficiente energeticamente, através da utilização de tecnologias construtivas que conferem especial atenção às alterações climáticas, tendo eminente como um dos principais objectivos a redução do impacto ambiental. Neste sentido, verifica-se que há um aumento progressivo na procura pela utilização da madeira, que por sua vez surge como um material que tem a capacidade de dar resposta aos aspectos mencionados anteriormente. Com o acesso a estudos de investigação cada vez mais rigorosos e em paralelo com os avanços tecnológicos a que se assiste ao longo dos séculos são várias as experiências construtivas em que é aplicada a madeira, que por sua vez possibilitam avaliar e identificar quais os requisitos seguros e eficazes para uma correcta utilização da madeira enquanto material construtivo, no sentido de inclusivamente restituir a este recurso natural o seu lugar preponderante na construção de edifícios. Esta não é apenas uma situação transitória, é efectivamente uma tendência que terá impacto no futuro das cidades, bem como no futuro do planeta.

*In terms of the worldwide building industry, it is however going to be bigger than just a moment – it is a trend that has great potential for the future of our cities, the future of housing, the future of how we will live and – last but not least – the future of the planet. (The future of timber construction CLT – CROSS LAMINATED TIMBER. Stora Enso Página 13)*

Em boa verdade, atendendo ao estilo de vida a que se assiste actualmente, que por sua vez é sinónimo de exigência, implica pensar-se em novas estratégias, bem como em novos conceitos e tecnologias mais flexíveis, na construção da habitação, mas principalmente que se mantenha o foco nas preocupações ambientais. Estas são considerações válidas tanto para projectos de nova construção, como também quando se trata da modernização de edifícios já existentes, sobre os quais deve ter-se em conta essas novas exigências. No entanto, para que esta situação se torne cada vez mais uma realidade actual é necessário passar por um processo de educação da sociedade civil, no sentido de mostrar o potencial da madeira quando aplicada ao nível da construção, bem como os seus benefícios associados tanto ao nível económico, como ecológico.

O grande desafio que se coloca para reverter um pouco esta situação, será ultrapassado através da educação, ou da informação para com o público em geral, nomeadamente os proprietários de edifícios, artesãos, arquitectos, construtores sobre os benefícios de se optar por utilizar a madeira.

Neste contexto surge nos finais do século XX um novo material, também considerado um sistema estrutural, que é abordado ao longo deste trabalho, nomeadamente os painéis de madeira maciça, *Cross Laminated Timber*. A elaboração desta dissertação consiste precisamente no estudo aprofundado das características da madeira como também deste inovador sistema construtivo, que por sua vez dá corpo a uma nova abordagem estrutural, dando-se a conhecer as várias vantagens que o CLT permite através da sua aplicação, bem como o seu potencial ao nível estrutural. Os painéis de CLT são por sua vez um material derivado da madeira, dimensionalmente estável graças ao cruzamento das várias placas, que limitam os movimentos higroscópicos da madeira no momento em que esta fica sujeita a variações de temperatura e humidade. No que diz respeito ao comportamento dos edifícios construídos com CLT face às acções sísmicas, verifica-se que estes possuem uma boa *performance*, por um lado porque a madeira é considerada um material leve, por outro graças às ligações entre os vários elementos estruturais e por fim atendendo ao modo como é feito o transporte das cargas aplicadas ao longo da estrutura global do edifício até às suas fundações, que no caso deste sistema estrutural torna-se num comportamento eficiente uma vez que estes painéis têm uma boa capacidade de resistência mecânica, tendo em conta que o seu desempenho é feito de forma bidireccional, garantindo-se assim o transporte de forças aplicadas na estrutura em várias direcções. No sentido de comprovar o bom desempenho estrutural, este material tem sido alvo de alguns estudos experimentais com recurso a ensaios em mesa sísmica, os quais dão provas de que este tipo de edifícios garante resistência estrutural na ocorrência de um sismo. Ainda no que diz respeito às características associadas aos painéis de CLT estes apresentam também um bom desempenho ao nível acústico, térmico, como também um comportamento eficiente face à acção do fogo.

Através da concretização deste trabalho constatou-se que este torna-se assim um sistema construtivo versátil, que se adapta facilmente a diversos tipos de edifícios, bem como em diversas soluções construtivas. Por outro lado, o entendimento das características deste sistema estrutural relativamente à possibilidade de ser pré-fabricado ainda em contexto de fábrica, torna-se um parâmetro essencial para a optimização do seu processo de fabrico, transporte e aplicação em obra.

É precisamente o potencial deste sistema construtivo inovador aplicado à necessidade de construção nos grandes centros urbanos, atendendo ao facto de a população mundial estar em constante crescimento, que está a despertar interesse nos intervenientes do sector da construção, desde arquitectos, aos investidores e inclusivamente a entidades governamentais. Por sua vez esse interesse neste tipo de construção está relacionado com o estudo de soluções alternativas, ecologicamente eficientes, tal como é o caso dos painéis de CLT.

Este torna-se assim um tema relevante enquanto objecto de estudo, na medida em que actualmente a indústria do cimento, tal e qual como o sector da construção em geral são responsáveis por uma parte considerável de emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, tendo sido inclusivamente mencionado ao longo deste trabalho medidas que devem ser consideradas no sentido de evitar o aumento da poluição, ao garantir que os edifícios são concebidos ainda durante a fase do projecto de arquitectura com o intuito de serem mais sustentáveis e eficientes ecologicamente.

Na realidade não se pretende que a construção em madeira substitua a construção com outros materiais construtivos, no entanto com a concretização deste trabalho pretende-se chamar à atenção para ser considerada a utilização da madeira como principal material de construção, uma vez que poderá ser um contributo importante no que diz respeito à redução da emissão de gases poluentes para o meio ambiente.

A madeira para além de ser um recurso natural, reciclável e renovável tem ainda a capacidade de armazenar CO<sub>2</sub> ao longo do seu período de utilização, o que significa que com a aplicação da madeira nas mais diversas situações estar-se-á a constituir um depósito de dióxido de carbono e a contribuir na redução do impacto das nossas acções perante o meio ambiente em que vivemos.



## BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, Paulo (2009) Sistema construtivo de madeira em edifícios de habitação de baixa densidade em Portugal, Tese de Doutoramento, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

BORGES, Paula (2013) Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de carvalho e de castanho do nordeste Transmontano, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Construção, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

CORREIA, Emanuel (2009) Análise e dimensionamento de estruturas de madeira, Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

COSTA, Ana (2013) Construção de edifícios com Cross Laminated Timber (CLT), Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.

COUTINHO, Joana (1999) Materiais de Construção 1 Madeira

MARTINS, Tomás (2010) Dimensionamento de Estruturas em madeira, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa.

MARQUES, Luís (2017) Construir em madeira. Uma proposta de habitação, Tese de Mestrado, Faculdade de Arquitectura, Universidade de Lisboa, Lisboa.

MONTEIRO, Pedro (2013) Construção em madeira: Edifícios de baixa densidade de turismo rural nas Beiras, Tese de Mestrado, Faculdade de Arquitectura, Universidade de Lisboa, Lisboa.

MORESCHI, João (2005) Propriedades da Madeira, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Sector de Ciências Agrárias da UFPR, Ministério da Educação e do Desporto, Curitiba, PR.

PINTO, Cristina (2014) Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de Pinho Bravo e de Freixo do Nordeste e Transmontano, Tese de Mestrado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

RAMOS, Sofia (2009) Caracterização das propriedades mecânicas e durabilidade biológica da madeira de Quercus faginea, Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

VARA, Ângela (2015) Estudo comparativo entre estruturas em madeira e estruturas em betão armado, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora, Évora.

Cary Kopczynski & Company (2018) Cross Laminated Timber Feasibility Study, A comparison between cross laminated timber and cast-in-place concrete framing for mid-rise urban buildings,

VENEZIANO, Alexandre, Método construtivo com CLT: Recomendações construtivas de acabamentos

MIKKOLA, Matti, Can CLT compete with concrete? Feasibility of Stora Enso Multi Storey Solution, Stora Enso Wood Products, Helsinki Finland

DANZIG, Ilana (2003) Tall wood in Canada: Feasibility Study, Technical Guide and Wood Innovation and Design Centre, Equilibrium Consulting Inc CA-Vancouver

*Economic feasibility of synthetic fiber reinforced laminated veneer lumber (LVL)*, volume 34, nº4, pp. 15-22

TIMMER, Ing. S. G. C. (2011) Feasibility of Tall Timber Buildings, Tese de Mestrado, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology,

FALK, Andreas (2005) Architectural Aspects of Massive Timber, Structural Form and Systems, Tese de Doutoramento, Division of Structural Engineering – Timber Structures, Department of Civil and Environment Engineering, Lulea University of Technology,



LANDREMAN, Archie (2006) Practical, Code-Compliant Detailing for Mid Rise Wood Structures, Detailing considerations for Mid Rise Wood Frame Buildings, WoodWorks – Wood Products Council, Wood Products, Estados Unidos da América

BORGSTROM, Eric, *Design of timber structures, Structural aspects of timber construction*. Swedish Forest Industries Federation, Swedish Wood, Estocolmo.



## DOCUMENTOS ELECTRÓNICOS

<http://www.clthouse.com/novatop-system/?lang=en> [Consultado em Abril de 2018]

<https://www.thinkwood.com/products-and-systems/cross-laminated-timber-clt-handbook> [Consultado em Abril de 2018]

<https://www.apawood.org/cross-laminated-timber> [Consultado em Abril de 2018]

<http://www.structuraltimber.co.uk/timber-systems/glulamclt> [Consultado em Abril de 2018]

<http://www.nzwood.co.nz/learning-centre/lc-applications-and-products-engineered-timber/> [Consultado em Abril de 2018]

<http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-169/issue-1/features/cross-laminated-timber-structures.html> [Consultado em Abril de 2018]

<http://www.woodproducts.fi/content/typical-structural-systems>. [Consultado em Abril de 2018]

<http://www.multicomfort.pl/en/prefabricated-houses/technology/> [Consultado em Abril de 2018]

<http://www.cascadebuilt.com/project/oneone6-apartments/> [Consultado em Abril de 2018]

<http://leonet.com/madeira/2016/06/24/propriedades-fisicas/> [Consultado em Abril de 2018]

BORGSTROM, Eric (2016) Design of timber structures. Structural aspects of timber construction. Disponível em:

<https://www.svenskttra.se/siteassets/6-om-oss/publikationer/pdf/design-of-timber-structures-1-2016.pdf> [Consultado em Abril de 2018]

GANDINI, João; BARATA, Tomaz; PABLOS, Javier (2016) Sistemas construtivos em Madeira certificada – Experiências desenvolvidas: uma abordagem sobre projecto de interfaces e processo de racionalização de componentes. Disponível em:

<http://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1296> [consultado em Abril de 2018]

MILS, Fred. (2010) Cross Laminated Timber Frames. Disponível em:

<https://www.willmottdixon.co.uk/expertise/cross-laminated-timber> [consultado em Abril de 2018]

BRENEMAN, Scott (2016) Structural Design, Design issues for structural engineers. Disponível em:

[http://www.structuremag.org/?author\\_name=scottbreneman](http://www.structuremag.org/?author_name=scottbreneman) [consultado em Abril de 2018]

BRENEMAN, Scott (2016) Structural CLT Floor and Roof Design, Wood Products Council. Disponível em:

<http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/Structural-CLT-Floor-and-Roof-Construction-WebR.pdf> [consultado em Abril de 2018]

Think Wood, Structural wood building systems, 2018. Disponível em:

<https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2018/02/Think-Wood-CEU-Structural-Systems-2018.pdf> [Consultado em Junho de 2018]

<https://structurecraft.com/materials> [Consultado em Junho de 2018]

<http://www.eurban.co.uk/> [Consultado em Junho de 2018]

NOVATOP SOLID Technical documentation. Disponível em:

[https://mowood.be/files/attachments/.79/EN\\_NOVATOP\\_SOLID.pdf](https://mowood.be/files/attachments/.79/EN_NOVATOP_SOLID.pdf)  
[Consultado em Junho de 2018]

Tackle Climate Change: Use Wood. Disponível em:

<https://www.jular.pt/files/pdfs/71/Tackle-climate-change-use-wood.pdf>  
[Consultado em Junho de 2018]

Cary Kopezynski & Company, (2018) Cross Laminated Timber feasibility study. Disponível em:

[http://buildingstudies.org/pdf/related\\_studies/Cross\\_Laminated\\_Timber\\_Feasibility\\_Study\\_Feb-2018.pdf](http://buildingstudies.org/pdf/related_studies/Cross_Laminated_Timber_Feasibility_Study_Feb-2018.pdf) [Consultado em Junho de 2018]

<http://www.woodworks.org/design-and-tools/building-systems/> [Consultado em Agosto de 2018]

<http://moodular.pt/construcao-em-madeira/> [Consultado em Agosto de 2018]

Pacific Northeast Manufacturing Partnership (2017) Advanced Wood Product Manufacturing Study for Cross-Laminated Timber Acceleration in Oregon & SW Washington, 2017, Washington. Disponível em:

[http://oregonbest.org/fileadmin/media/Mass\\_Timber/Accelerating\\_CLT\\_Manufacturing\\_in\\_Oregon\\_\\_SW\\_Washington\\_\\_2017\\_\\_Oregon\\_BEST\\_.pdf](http://oregonbest.org/fileadmin/media/Mass_Timber/Accelerating_CLT_Manufacturing_in_Oregon__SW_Washington__2017__Oregon_BEST_.pdf)  
[Consultado em Agosto de 2018]

<http://htconstrucao.com.br/construtora/construtora/oque-e-construcao-modular/> [Consultado em Setembro de 2018]

<https://www.e-konomista.pt/artigo/casas-modulares/> [Consultado em Setembro de 2018]

[https://www.archiproducts.com/pt/produtos/galoppini-legnami/casa-de-madeira-block-house-system\\_70715](https://www.archiproducts.com/pt/produtos/galoppini-legnami/casa-de-madeira-block-house-system_70715) [Consultado em Setembro de 2018]

<https://www.jular.pt/empresa/> [Consultado em Setembro de 2018]

[https://www.archiproducts.com/pt/produtos/galoppini-legnami/casa-de-madeira-block-house-system\\_70715](https://www.archiproducts.com/pt/produtos/galoppini-legnami/casa-de-madeira-block-house-system_70715) [Consultado em Setembro de 2018]

[https://www.researchgate.net/figure/Building-under-construction-with-CLT-structural-components-in-Vancouver-BC\\_fig1\\_279532971](https://www.researchgate.net/figure/Building-under-construction-with-CLT-structural-components-in-Vancouver-BC_fig1_279532971) [Consultado em Setembro de 2018]

<https://csengineermag.com/article/mass-timber-high-rise/> [Consultado em Setembro de 2018]

<http://www.klhuk.com/home.aspx> [Consultado em Setembro de 2018]

KLH Massivholz GmbH (2012) Component Catalogue for Cross laminated timber Structures, Austria. Disponível em: <http://www.klhuk.com/home.aspx>  
[Consultado em Setembro de 2018]

KLH Massivholz GmbH (2018) Cross Laminated Timber, Austria. Disponível em: <http://www.klhuk.com/home.aspx> [Consultado em Setembro de 2018]

Stora Enso, The future of Timber Construction CLT – Cross Laminated Timber. A study about changes, trends and technologies of tomorrow, 2017  
Disponível em:  
<http://www.clt.info/wp-content/uploads/2017/06/Stora-Enso-The-future-of-timber-construction-EN.pdf> [Consultado em Setembro de 2018]

Advanced wood product manufacturing study for Cross-Laminated Timber acceleration in Oregon & SW Washington, 2017. Disponível em:  
[http://oregonbest.org/fileadmin/media/Mass\\_Timber/Accelerating\\_CLT\\_Manufacturing\\_in\\_Oregon\\_\\_SW\\_Washington\\_2017\\_\\_Oregon\\_BEST\\_.pdf](http://oregonbest.org/fileadmin/media/Mass_Timber/Accelerating_CLT_Manufacturing_in_Oregon__SW_Washington_2017__Oregon_BEST_.pdf)  
[Consultado em Setembro de 2018]

## PEÇAS DESENHADAS